



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

CAMPUS IZTACALA

**"EVALUACION DE LA RESPUESTA
MORFOFISIOLOGICA DE 2 VARIEDADES
DE *Phaseolus vulgaris* L. A CONDICIONES
DE SEQUIA."**

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE:

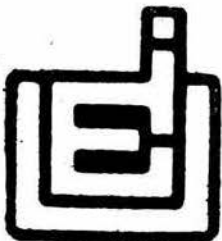
B I O L O G O

P R E S E N T A :

PABLO

RUIZ

PUGA



MEXICO, D. F.

1994



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Con dedicatoria para:

La compañera de toda mi vida, mi esposa:
María Trinidad Gallardo Romero

Mis Hijos:
Blanca Patricia Ruíz Gallardo
Pablo Ruíz Gallardo
Jose de Jesús Ruíz Gallardo

Mi padre:
José María Ruíz Vital (finado)

Mi Madre:
María Guadalupe Puga Flores

Mi Abuela:
María de los Angeles Vital

Mis Maestros:
Por todo lo que aprendí de ellos.

Mis Compañeros y Amigos:

Maestras Martha O. Salcedo A., Norma Laura García Saldívar, Irma Elena Dueñas G., Beatriz R. Ubilla U., Laura Castañeda P., Roberto Moreno C., Sixto Guerrero, Alberto Pallares y Esther por proporcionarme una estancia grata en la UNAM Campus Iztacala.

ESTA TESIS FUE REALIZADA EN LA UNIDAD DE MORFOLOGIA Y FUNCION, DE
LA UNAM CAMPUS IZTACALA, BAJO LA DIRECCION DEL BIOL. ALBERTO
ARRIAGA FRIAS.

AGRADECIMIENTOS

A

Biól.: Alberto Arriaga Frías:

Por ser un verdadero amigo y maestro

A los Profesores:

Dr. Ernesto Aguirre León

Biól. Manuel Mandujano Piña

Biól. Juan Gerardo Ortíz Montiel

Biól. Gumersindo H. de la Cruz Guzmán

Por la corrección de esta tesis y por sus sabios consejos.

Al M. en C. Sergio González Moreno

Por el material y apoyo prestado para esta investigación

Contenido

Página

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS.....	6
ABREVIACIONES.....	7
RESUMEN.....	8
I. INTRODUCCION.....	9
II. Revisión Bibliográfica.....	12
2.1 Historia y origen del frijol.....	12
2.2 Importancia del frijol.....	13
2.3 Aspectos botánicos del frijol.....	14
2.4 Sequía.....	17
2.5 Resistencia a sequía.....	18
2.6 Mecanismos de resistencia a sequía.....	18
2.7 Efectos de la sequía.....	21
2.7.1 Efectos de orden fisiológico.....	22
2.7.1.1 Potencial hídrico y sus componentes.....	22
2.7.1.2 Ajuste osmótico bajo déficit hídrico.....	23
2.7.1.3 Transpiración bajo déficit hídrico.....	23
2.7.1.4 Relación entre transpiración y resistencia estomática	24
2.8 Morfología bajo efecto de sequía.....	24
2.8.1 Efecto del déficit hídrico sobre la raíz.....	24
2.8.2 Efecto del déficit hídrico sobre las hojas.....	25
2.8.3 Efecto del déficit hídrico sobre el rendimiento.....	26
2.9 Efectos de la sequía sobre fotosíntesis.....	27
III. Materiales y Métodos.....	29
3.1 Ubicación del experimento.....	29
3.2 Material genético.....	29
3.3 Fases fenológicas de referencia.....	29
3.4 Tratamientos de déficit hídrico.....	29
3.5 Preparación de material biológico.....	29
3.6 Curva de referencia de humedad del suelo.....	29
3.7 Diseño experimental.....	30
3.7.1 Tratamientos Experimentales.....	31
3.7.2 Unidad Experimental.....	31
3.7.3 Características evaluadas.....	33

3.7.3.1 De orden morfológico.....	33
a) Observaciones del sistema radical.....	33
b) Observaciones de la parte aérea.....	33
3.7.3.2 De orden fisiológico.....	34
3.7.3.3 De orden fotoquímico.....	34
3.7.3.4 Evaluaciones medioambientales.....	34
3.7.3.5 Indices.....	34
3.7.3.6 Velocidad de crecimiento y/o acumulación de biomasa.....	35
3.7.4 Manejo de variables de respuesta.....	35
3.7.5 Morfometría básica.....	36
3.7.6 Fenología.....	36
3.7.7 Indices Fisiotécnicos.....	36
3.7.8 Indices Fisiológicos.....	37
3.7.9 Orden de las Evaluaciones.....	37
3.7.10 Descripción de las técnicas de evaluación.....	38
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	42
4.1 Respuesta de orden morfológico bajo estrés hídrico....	42
4.1.1 Peso Seco de Raíz.....	42
4.1.2 Peso Seco de Hojas.....	49
4.1.3 Razón Area Foliar (RAF).....	54
4.1.4 Razón Vástago/Raíz.....	58
4.1.5 Peso Seco Total.....	63
4.1.6 Area Foliar.....	67
4.2 Respuestas de orden agronómico.....	72
4.2.1 Rendimiento.....	72
4.3 Respuestas fotoquímicas a sequía.....	73
4.3.1 Relación FV/FM.....	73
4.4 Respuestas de orden fisiológico al déficit hídrico....	80
4.4.1 Transpiración.....	80
4.4.2 Resistencia estomática a la Difusión de vapor de agua.....	88
VI. Conclusiones.....	95
VII. BIBLIOGRAFIA.....	97

INDICE DE FIGURAS

Página

Cuadro de precocidad de las variedades.....	42
Figuras 1 a 6. Peso Seco de Raíz.....	43 a 48
Figuras 7 a 10. Peso Seco de Hojas.....	49 a 53
Figuras 11 a 14. Razón Area Foliar.....	54 a 57
Figuras 15 a 18. Índice Vástago/Raíz.....	58 a 61
Figuras 19 a 22. Peso Seco Total.....	63 a 66
Figuras 23 a 26. Area Foliar.....	68 a 71
Figura 27. Peso Seco de Grano.....	72
Figuras 28 a 33. Eficiencia Fotoquímica.....	74 a 79
Cuadro Transpiración var. Jamapa.....	80
Figuras 34 a 36. Transpiración Jamapa.....	81 a 83
Cuadro Transpiración Querétaro.....	84
Figuras 37 a 39. Transpiración Querétaro.....	85 a 87
Figuras 40 a 45. Resistencia a la Difusión.....	89 a 94

ABREVIACIONES:

JRAF50. Tratamiento de riego con área foliar del 50 % en plantas de la variedad Negro Jamapa.

JRAF100. Tratamiento de riego con área foliar del 100 % en plantas de la variedad Negro Jamapa.

JSAF50. Tratamiento de sequía con área foliar del 50 % en plantas de la variedad Negro Jamapa.

JSAF100. Tratamiento de sequía con área foliar del 100 % en plantas de la variedad Negro Jamapa.

QRAF50. Tratamiento de riego con área foliar del 50 % en plantas de la variedad Negro Querétaro.

QRAF100. Tratamiento de riego con área foliar del 100 % en plantas de la variedad Negro Querétaro.

QSAF50. Tratamiento de sequía con área foliar del 50 % en plantas de la variedad Negro Querétaro.

QSAF100. Tratamiento de sequía con área foliar del 100 % en plantas de la variedad Negro Querétaro.

R. Riego.

S. Sequía.

A.F.. Area Foliar.

PST. Peso Seco Total.

PSH. Peso Seco de Hojas.

PSR. Peso Seco de Raíz.

PSG. Peso Seco de Grano.

RAF. Razón Area Foliar.

V/R. Razón Vástago/Raíz.

F0. Fluorescencia inicial.

FM. Fluorescencia media.

FV. Fluorescencia variable.

FV/FM. Eficiencia fotoquímica.

PS II. Fotosistema II.

PS. Fotosíntesis.

PAR. Radiación fotosintética activa.

RESUMEN

En el presente estudio se evaluaron respuestas morfológicas, fisiológicas, fotoquímicas y agronómicas de dos variedades mejoradas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.); las variedades trabajadas fueron Negro Jamapa y Negro Querétaro, las cuales son de diferente procedencia, pues una pertenece a clima tropical y la otra a clima templado. Se sometieron a déficit hídrico inducido con la variante de corte manual del área foliar al 50 % y con el sostenimiento del área foliar en un 100 %, observándose el comportamiento entre tratamientos en una misma variedad y entre tratamientos de las dos variedades. Se determinó cual variedad puede producir un alto rendimiento económico, que al final de cuentas es lo que cualquier campesino productor de frijol persigue. Se corroboraron características de resistencia a sequía como el Peso Seco de Raíz (PSR), el cual es más alto en plántulas sometidas a sequía y correlacionadas con rendimiento nos muestran que Negro Jamapa probablemente tenga una condición genética positiva de resistencia a sequía; así, el efecto relativo de diferentes genotipos de frijol sobre rendimiento bajo condiciones de sequía fueron reportados por White y Castillo (1989, citado por Moreno, 1993) mostrando que los genotipos con abundante raíz tienen un efecto significativo sobre rendimiento de semilla. Respectos a las respuestas fisiológicas y fotoquímicas, las plántulas sometidas a sequía presentaron una transpiración y una eficiencia fotoquímica ligeramente más alta respecto a las plántulas testigo, corroborando estos resultados una biomasa más alta en las plántulas sometidas a sequía, en etapas fenológicas posteriores se observa una proporcionalidad entre transpiración y eficiencia fotoquímica; la transpiración es muy alta en etapa de plántula, disminuye en floración y casi se abate en etapa de llenado de grano.

I. INTRODUCCION

En plantas cultivadas el rendimiento es la resultante de la interacción entre el genotipo y el medio, la cual se manifiesta a través de los procesos fisiológicos, el estudio de dichos procesos es de gran importancia para investigaciones tanto agrícolas como ecológicas, en el enfoque de dichos estudios se puede considerar: a) la fisiología de los procesos como nutrición mineral, metabolismo del agua, acción de las fitohormonas, etc. y b) la fisiología de cultivos, la cual estudia en forma integral el efecto de los diferentes procesos en el crecimiento y producción de los cultivos, así como el efecto modificador del medio en dichos procesos (Engleman, 1979).

Para el desarrollo y crecimiento de la planta una de las variables ambientales más importantes es la deficiencia hídrica. Normalmente, las plantas pueden estar expuestas a períodos de sequía moderada o intensa durante las fases de crecimiento o reproducción (Parsons, 1981). Las plantas presentan variadas respuestas o mecanismos de evasión o tolerancia a la sequía cuando pueden sobrevivir al estrés (Jones, 1983).

El número de especies pertenecientes al género *Phaseolus* es desconocido, sin embargo se considera que podría contener alrededor de 150 (Rendle, 1925 y Hutchinson, 1979 citados por Rodríguez et al, 1987). En México existe una gran variabilidad de especies silvestres. En Nuevo León se han reportado diferentes especies en forma silvestre (Rodríguez et al 1987, citado por Moreno, 1993) existiendo una gran necesidad de investigación sobre éstas, para determinar si hay fuente de genes resistentes a diferentes factores de estrés biótico y abiótico, que posteriormente se podrían incorporar a las variedades cultivadas. La determinación de las características bioquímicas, morfológicas y anatómicas de las especies silvestres resistentes ayudaría a determinar el material más apropiado a ser involucrado en un programa de mejoramiento genético (Moreno, 1993).

Las formas silvestres de *P. vulgaris* se localizan en las partes occidental y sur de México, en Guatemala y Honduras a lo largo de una franja de transición ecológica localizada entre los

500 y 1, 800 msnm (Miranda, 1967b; Gentry, 1969, citado por Engleman, 1979).

En cualesquiera de los sistemas de producción de frijol, se persiguen uno o varios de los siguientes objetivos: aumento en el rendimiento, mayor redituabilidad del cultivo, o una mayor seguridad en la cosecha.

Crecimiento de la planta

El crecimiento de las plantas está directamente controlado por su tensión hídrica y solo indirectamente por la tensión hídrica del suelo y la atmósfera. El déficit hídrico de la planta se produce cuando la transpiración excede a la absorción de agua. Los déficits hídricos a largo plazo y más graves llegan a producirse cuando el potencial hídrico y la conductividad hidráulica decrecientes del suelo tienen como consecuencia una absorción reducida de agua (Christiansen, 1987).

De esta forma, los ciclos diarios de tensión hídrica están controlados principalmente por la transpiración, pero los déficits hídricos graves a largo plazo se producen sobre todo porque la disponibilidad de agua del suelo disminuye (Kramer, 1974).

La tensión hídrica extrema afecta prácticamente a cada uno de los aspectos del crecimiento de la planta, modificando la anatomía, la morfología, la fisiología y la bioquímica. No se puede asegurar a ciencia cierta cuanta reducción del crecimiento es causada por una turgencia menguada, cuanto por un potencial hídrico y cuanto por el descenso del potencial osmótico. Se ha observado que los déficits hídricos de mediodía reducen en cierta forma el agrandamiento celular y alargamiento del tallo, así como la fotosíntesis. La reducción de la expansión celular da por resultado plantas más pequeñas, hojas más gruesas y más fuertemente cutinizadas, mayor cantidad de materia seca y una proporción más grande de las raíces a los vástagos (Christiansen, 1987). Es por esto que el presente estudio incluye aspectos fisiológicos, morfológicos, fotoquímicos y agronómicos bajo condiciones de déficit hídrico inducido.

Los objetivos de este trabajo son:

- Evaluar algunas de las respuestas morfofisiológicas de 2 variedades de *Phaseolus vulgaris* L. (Negro Jamapa y Negro Querétaro) bajo el esquema riego y sequía con los tratamientos 50 y 100 % de A.F. en condiciones de agobio hídrico y riego adecuado durante un ciclo de cultivo.

- Inferir cual variedad presenta las mayores estrategias para evadir la sequía ante un déficit de agua determinado.

- Estudiar en las variedades el proceso fotosintético y relacionarlo con las variables de respuesta morfológicas.

- Determinar la correlación de resistencia a sequía con rendimiento para establecer características de resistencia a sequía.

Las hipótesis que se plantean son las siguientes:

- La disminución del área foliar de la planta implicará un incremento de la eficiencia fotosintética siempre y cuando no se afecten las estructuras demandantes de la misma (raíces, semillas...)

- Las variables de respuesta a condiciones de sequía que favorecen el mantenimiento de una condición hídrica equivalente a aquellas crecidas en condiciones de humedad es por resultado de mecanismos morfológicos o fisiológicos de evasión y tolerancia a la sequía.

- Una planta con características de resistencia en estados iniciales de su desarrollo (germinación, plántula) presenta una correlación positiva con el rendimiento (estado terminal de desarrollo).

- El efecto de la procedencia de los materiales genéticos

respecto a la condición agroclimática influye en la respuesta morfofisiológica y de rendimiento de las plantas de *Phaseolus vulgaris* L.

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Historia y origen del frijol

Algunos de los códices, y en general las reseñas sobre la Nueva España, hacen referencia al frijol en México; por lo tanto, tenemos: a) nombres geográficos derivados de frijol, por ejemplo, Etna, Oax.; b) la lista de atributos otorgados a los aztecas, tributos que arrojan una cantidad calculada de 5,280 tons. de grano de frijol al año; c) la referencia a variedades de frijol de muchos tamaños y colores, incluyendo el ayocotli (*Phaseolus coccineus*). "En otra parte del mercado se vendían cosas de comer como maíz blanco, maíz azul oscuro, o negro, colorado, amarillo y frijoles amarillos, blancos, colorados y jaspeados, negros grandes como habas" (Sahagún, 1956; citado por Engleman, 1979). Sahagún hace referencia a que los ejotes se comían como ejotes, en tamales con maíz, y en casa de los señores "también había otras trojes en que guardaba mucha cantidad de frijoles". Se aprecia que antes de la Conquista, el cultivo, la producción, el consumo y el almacenamiento de frijol formaban una parte integrada importante de la cultura agrícola en México. Estudios recientes de complementación alimenticia señalan los cuatro cultivos básicos autóctonos mexicanos prehispánicos y son: el maíz para carbohidratos, el frijol para proteínas, la calabaza (las semillas) para aceite y los chiles para vitaminas (Kaplan, 1973; citado por Engleman, 1979). Con la Conquista española, se introdujeron cultivos nuevos, ganado domesticado, implementos agrícolas, sistemas de producción y cambios en los valores sociales de alimentación. Los españoles preferían en su alimentación trigo en lugar de maíz; haba, garbanzo y alverjón en lugar de frijol; ajonjolí y coco en lugar de calabaza para aceite. La comida de los indios en ese entonces se caracterizó por el consumo de tortillas, frijoles, quintoniles, quelites, etc.. Con el impulso de la

investigación agrícola, el frijol pasó a ser un cultivo de segunda prioridad, se menospreciaron sistemas de producción tradicionales de cultivo asociados y se fortaleció el concepto de reemplazar los conocimientos empíricos tradicionales por tecnologías importadas (Engleman, 1979).

Las investigaciones sobre frijol en México empezaron por el año de 1936, cuando la oficina de Campos Experimentales de la Dirección General de Agricultura, de la Secretaría de Agricultura y Fomento, logró reunir una serie de variedades de diferentes partes de la República Mexicana (Engleman, 1979).

De acuerdo a Gentry (1969) y Vavilov (1949, citado por Miranda, 1966) el frijol tiene su centro de origen en el área occidental y sur de México, así como Guatemala y Honduras.

2.2 Importancia del frijol

El frijol, (*Phaseolus vulgaris* L.) es un cultivo de suma importancia alimenticia y económica, siendo uno de los principales cultivos en América Latina y África. Actualmente hay genotipos con alto rendimiento, pero la diversidad de ambientes afectan su rendimiento (Moreno, 1993).

Los principales factores limitantes a la producción de frijol en América Latina son sequía, plagas y enfermedades (Schoonhoven et al, 1989) y en África la pobre fertilidad del suelo, la sequía, malezas, enfermedades e insectos (Allen et al, 1989). Actualmente el CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) en Colombia, lleva a cabo investigación que incluye evaluación de germoplasmas de frijol para la resistencia a la sequía, adaptación a la pobre fertilidad, fijación de nitrógeno biológico y resistencia a diferentes enfermedades (CIAT, 1988).

Asimismo, se han propuesto diferentes centros de origen.

Se han establecido algunas áreas de domesticación para frijol común en base a estudios de la proteína faseolina: Mesoamérica para semillas con faseolina "S"; Colombia para semillas con faseolina "B" y Perú y Argentina para semillas con faseolina "T" (y probablemente "A", "C" o "H") (Gepts, 1984; Gepts y Bliss, 1986, 1988; Gepts et al, 1986). La distribución y diversidad de especies

silvestres en México y EUA ha sido estudiada por diversos autores (Piper, 1926; Kaplan y Neish (1960), citados por Rodríguez et al (1980) y Moreno (1993).

2.3 Aspectos botánicos del frijol

Descripción de variedades mejoradas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) trabajadas en este experimento, por: Alfonso Crispín M., Técnico del INIA.

1. Cultivo: Frijol.
2. Nombre científico: *Phaseolus vulgaris* L.
3. Raíz: Axonomorfa.
4. Tallos: aéreos(varían en su color).
5. Hojas: compuestas en tres folíolos.
6. Inflorescencias: en racimo simple.
7. Fruto: simple, formado por una legumbre o vaina.
8. Susceptibilidad: son susceptibles a sales, excesos de humedad, altas temperaturas, heladas, plagas, granizo y hongos de almacén.
9. Altura de la planta: de 35-40 cms.
10. El rendimiento que se especifica se refiere al probable que se obtiene bajo buenas condiciones de cultivo y óptimas condiciones ecológicas en sus áreas de adaptación.
11. Las mejores áreas para la producción de su semilla son las áreas de adaptación. En condiciones especiales, cuando se quiere obtener semilla libre de patógenos que causan atracnosis y bacteriosis, las variedades deberán sembrarse en zonas calientes, durante el invierno y bajo condiciones de riego.
12. Recomendaciones:
 - Surcos de 60-80 cms.
 - Procurar que la semilla esté uniforme, sin manchas, arrugas, quebradizas o mezclas.
 - Sembrar en húmedo, procurando evitar lugares en donde se encharque el agua.
 - En siembra de riego puede usarse el herbicida preemergente Dinitro a razón de 4 litros por hectárea aplicado en bandas.

- Durante el cultivo se deshierbarse a mano, con animales o maquinaria.
- Combatir plagas: entre siembras de riego las chicharritas y en siembras de temporal la conchuela, picudo del ejote y acariótica.
- Para cosechar, se corta la planta cuando la mayor parte de ellas empiezan a amarillarse, se dejan en el terreno hasta que se secan y se trillan con los medios que se tienen al alcance.
- Se seca la semilla antes de encostarla, de manera que se evite el crecimiento de hongos e insectos. Un 12 % de humedad es lo más adecuado.
- Si la semilla no se utiliza para el consumo humano, deberá tratarse con DDT al 3% o fumigar el almacén con Bromuro de Metilo.

2.3.1 Descripción de la variedad Negro Jamapa:

2.3.1.1 Método de obtención: Selección -Individual masal.

2.3.1.2 Características agronómicas:

- a) Flores de color morado
- b) Semilla de tamaño chico, un promedio de 6, 976 semillas por Kg, forma arriñonada de color opaco.
- c) Ciclo vegetativo de 80-85 días en su área de adaptación.
- d) Hábito de crecimiento, semiguía corta erecta.
- e) Días a floración, 35.
- f) Area de adaptación: es una variedad con muy amplio rango de adaptación, pues produce buenos rendimientos en la zona tropical del Golfo, Península de Yucatán, Nayarit, Estado de Sinaloa, Iguala-Gro., Tepalcingo, México y Durango.
- g) Producción: 1, 800-1, 200 kg por hectárea en

buenas condiciones de humedad.

h) Tolerante a chahuixtle y mozaicos.

3. Recomendaciones para su cultivo (Circ. CIASE No. 7):

a) Sembrar de 30-35 kg de semilla por hectárea.

b) Las fechas de siembra son como sigue:

1ra. quincena de octubre- Mixtequilla y partes del Municipio de Tlalixcoyan, Ver.; en Santiago Ixmintla, Nay..

Durante las primeras 3 semanas de octubre en los Tuxtlas (San Andrés, Santiago y Catemaco).

En diciembre y febrero en Martínez de la Torre y San Rafael, Ver..

1ra. quincena de febrero en Zempoala, Piedras Negras y Cardel, Ver..

En verano en Iguala-Gro., Durango y Yucatán.

2.3.2 Descripción de la variedad Negro Querétaro:

2.3.2.1 Método de obtención: Selección individual.

2.3.2.2 Genealogía: Hgo. 48-A-1.

Se colectó en el Municipio de Nopala, Hgo. 48-A-1, altura 2102; colectado en la Exposición Nacional Agrícola por el personal de estudios especiales. Fué obtenida en el CAEVAMEX en 1962.

2.3.2.3 Características agronómicas.

a) Flores de color morado.

b) Semilla de tamaño mediano, aprox. 4, 923 semillas por kg., forma uniforme de color negro brillante.

c) Ciclo vegetativo de 120 a 130 días.

d) Crecimiento indeterminado, semiguía.

e) Días a floración, 75.

f) Área de adaptación: Valles altos de los estados de Puebla, Tlaxcala e Hidalgo, también produce bien en la zona caliente de Morelos e Iguala,

Gro..

- g) Rendimiento: 2, 300 kg por hectárea bajo buenas condiciones de cultivo.
- h) Tolerante a chahuixtle, resistente a bacteriosis y pudriciones radiculares, susceptible a antracnosis.

2.3.2.4 Recomendaciones para su cultivo:

- a) Sembrar 40 kg de semilla por hectárea.
- b) Sembrarlo de preferencia durante el mes de mayo.

2.3.3.5 Otras características:

- a) La cochura y el color no cambia con el tiempo de almacenaje.
- b) Tiempo de cocción, 2:45 hrs, a 2 200 m.s.n.m.
- c) Procentaje de proteína, 23 %.
- d) Al cocinarse suelta caldo claro, no espeso como sucede con frijoles tropicales.
- e) Esta variedad se ha adaptado en la República del Salvador, Centro América.

2.4 Sequía

El término "sequía" no es de común acuerdo a muchos investigadores y se han realizado varios intentos para clasificar los mecanismos de resistencia de los cuales se considera el de Levitt (1972) para fines del presente trabajo.

Este autor considera que cuando una planta se ve sometida a un déficit de humedad puede echar a andar mecanismos de evasión que le permiten minimizar la existencia de daño por falta de agua manteniéndose suficientemente hidratada, es decir, sosteniendo altos valores de potencial hídrico utilizando diversas estrategias a nivel morfológico, fisiológico, reducción del área foliar (por disminución de las hojas o por desprendimiento de las mismas), disminución de la densidad estomática, aumento de la densidad y profundidad radical, ajuste osmótico, enrollamiento de las hojas entre otros.

El estudio de la resistencia a sequía requiere de una definición

objetiva del término sequía pero hasta la fecha no se ha propuesto una definición de aceptación universal. Un artículo de la World Meteorological Organization sobre las definiciones de sequía incluyó 14 que se basaban en la precipitación, 13 en la precipitación y temperaturas medias, 11 en los índices climáticos y estimaciones de evapotranspiración, y 15 en los parámetros suelo-agua y de los cultivos. Algunos de los criterios comunes que se emplearon en las definiciones fueron la precipitación, la temperatura del aire, la humedad relativa, la evaporación de una superficie de agua libre, la transpiración de las plantas, el viento, las corrientes de aire, la humedad del suelo y las condiciones de la planta. En este artículo se define a la sequía como "cualquier período durante el cual, las deficiencias de la planta y/o de agua del suelo, afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas". La duración de este período de sequía determinará la cantidad del daño ocasionado en el crecimiento y desarrollo de la planta, (Christiansen, 1987). La sequía es una condición meteorológica que es tolerada por las plantas que sobreviven y la evitan (Zeiger, 1991).

2.5 Resistencia a sequía

El término "resistencia a sequía" está relacionado con un ambiente desfavorable por falta de humedad y se refiere a la capacidad de un genotipo para ser más productivo que otro, con una determinada cantidad de humedad del suelo. El interés fundamental de éste se relaciona con la variabilidad existente dentro de las especies, no con la variabilidad entre especies (Christiansen, 1987).

2.6 Mecanismos de resistencia a sequía

Los mecanismos de resistencia a la sequía han sido divididos en algunas categorías. Podemos distinguir entre: a) desecación pospuesta (habilidad para mantener el tejido hidratado), b) tolerancia a la desecación (habilidad para funcionar mientras esté

deshidratada), la cual algunas veces nos referimos como tolerancia a la sequía en altos y bajos potenciales hídricos, respectivamente y c) el escape a la sequía, comprende plantas que completan su ciclo de vida durante la estación húmeda antes de que se presente la sequía. Estas son las verdaderas "evasoras de la sequía". La evasión a la sequía parece ser el mayor mecanismo de sobrevivencia en plantas superiores (Zeiger, 1991).

Entre los mecanismos más importantes para enfrentar la baja disponibilidad de agua se hallan los siguientes:

a) Precocidad en la maduración

En algunas plantas de cultivo, uno de los avances logrados para aumentar la productividad en ambientes con déficits hídricos, ha sido aumentar la precocidad de la maduración de las cosechas. Esto permite evitar los efectos de la sequía y como tal, no es un mecanismo real de resistencia sino de evasión (Christiansen, 1987).

b) Crecimiento de la raíz

Un sistema radicular ampliamente desarrollado incrementa la eficiencia de la absorción y la resistencia relativa a la sequía. Por lo general, los estudios han mostrado que a medida que se incrementan la profundidad, el grosor y ramificación del sistema radicular, disminuye la tensión hídrica extrema causada por el déficit hídrico (Christiansen, 1987).

c) Regulación de estomas y resistencia de la cutícula

Los estomas actúan como mecanismos de protección de la planta, ya que al cerrarse durante períodos de deficiencia de agua, disminuyen la pérdida de esta e influyen en las tasas de respiración y fotosíntesis. Se ha demostrado que en frijoles un potencial hídrico de -8 bars cierra los estomas. Parece ser muy probable que en condiciones ambientales idénticas, plantas con gruesas capas de cutícula y estomas que responden tan pronto como comienzan a manifestarse las deficiencias de agua, responden mejor a los

efectos de sequía que aquellas con menor número de estomas sensibles y con menos capas de cutícula (Christiansen, 1987).

d) Número de estomas

Las plantas que tienen un menor número de estomas tienen una transpiración más baja que plantas con un mayor número de estomas. La alta o baja frecuencia de estomas está asociada con altas tasas de fotosíntesis y con una mayor tolerancia a la sequía.

e) Control de la transpiración.

Un medio para aplazar el déficit hídrico extremo en las plantas es la reducción de la transpiración. Algunas plantas reaccionan contra el déficit hídrico desprendiéndose de sus hojas; muchas reaccionan cerrando sus estomas; ambas reacciones reducen la pérdida de agua. Estomas sensibles que se cierran rápidamente al iniciarse la tensión hídrica, combinados con hojas fuertemente cutinizadas, tienen por resultado un control muy eficaz de la transpiración. La característica esencial en las relaciones hídricas de las plantas es el equilibrio hídrico interno o grado de tensión hídrica, porque controla los procesos fisiológicos y las condiciones que determinan la cantidad y la calidad del crecimiento de la planta (Kramer, 1974).

El potencial hídrico está relacionado directamente con la eficiencia de uso de agua por lo que El-Sharkaw y Cock (1984, citado por Moreno, 1993.) encontraron en varias especies que la eficiencia en el uso del agua disminuyó con incrementos en el déficit de potencial hídrico al influir sobre la transpiración. Específicamente para frijol, las EUA fueron de 2.3 a 5 mol CO₂ mmol⁻¹ agua cuando el potencial hídrico varió de 2 a 4 Kpa, la transpiración varió de 3.9 a 6.8 mmol⁻²S⁻¹ y la fotosíntesis de 908 a 676 mol CO₂ m⁻² (Moreno, L.S. et al 1993). El efecto del potencial hídrico sobre la planta se observa en la etapa de plántula por una producción menor de materia seca; en la floración, cuando se tiene una gran cantidad de flores y no llegan a la etapa de fruto o si llegan son frutos anormales (menor tamaño,

raquíticos, etc.) y en la etapa de llenado de grano no hay respuesta satisfactoria pues son muy pocos los frutos que llegan a esta etapa, el rendimiento prácticamente no existe ya que las etapas fenológicas con antelación son afectadas.

2.7 Efectos de la sequía

Muchos lugares del mundo están expuestos a sequía, la duración e intensidad de la misma varía mucho de una zona climática a otra. Las pérdidas ocasionadas por una sequía prolongada pueden sumar cientos de millones de dólares. Las pérdidas directas son consecuencia directa de los rendimientos reducidos de las cosechas. Existen pérdidas indirectas que son más difíciles de evaluar, incluyen cultivos no sembrados por abandono de tierra, cambios en el uso de la tierra después de la sequía, aunque las industrias agrícolas padecen las pérdidas primarias, el costo se extiende sobre la nación entera cuando el gobierno otorga subsidios para compensar al sector agrícola y cuando, después de la escasez del producto, se elevan los precios al consumidor. La precipitación pluvial y el riego son los únicos factores que pueden aliviar por completo los efectos de la sequía sobre los rendimientos del cultivo. Cuando el agua de riego no está disponible, las soluciones posibles son recurrir a prácticas culturales que incrementen la disponibilidad de la humedad del suelo o desarrollar y seleccionar variedades de cultivo que puedan evitar o tolerar con una alta eficiencia los períodos de sequía. Se considera como axioma el que la productividad de un cultivo que se desarrolla en condiciones de sequía será menor que cuando se desarrolla con amplios suministros de humedad del suelo, por esto no es posible tener inmunidad biológica contra los efectos de la sequía. Solamente con el fitomejoramiento es posible desarrollar cierto grado de tolerancia a la sequía. La productividad puede incrementarse al prolongar la disponibilidad de humedad del suelo si se reducen las tasas de transpiración durante el período de crecimiento o logrando un uso más eficiente del agua de transpiración durante la fotosíntesis (Christiansen, 1987).

En nuestro país, la problemática que enfrentan los campesinos que dependen de la lluvia como única fuente de agua es muy compleja en virtud de que el 80% de la superficie cultivada presenta esta condición. Las lluvias de temporal están caracterizadas porque no tienen una regularidad absoluta por lo que las variaciones dependen de las condiciones agrometeorológicas y la orografía de la localidad principalmente (Muñoz, 1989).

Las manifestaciones de la sequía son diversas considerando su cantidad, retraso y distribución.

Una precipitación de menos de 300 mm equivale a un mal temporal, sin embargo, cuando ésta es uniforme a lo largo del ciclo agrícola ello resulta menos problemático si dicha precipitación se presenta masivamente en un corto intervalo de tiempo ya que ello solo favorece una fase definida del ciclo agrícola poniendo en peligro la producción de los cultivos.

El retraso en la iniciación del período de lluvias afecta negativamente la agricultura de temporal y a los campesinos que siembran al presentarse las primeras lluvias, antes de que estas se normalicen completamente se experimenta un retraso en el establecimiento de los cultivos, y por lo tanto repercutiendo en pérdidas. Así también, una siembra tardía en pleno período de lluvias encara, a su vez, el riesgo de heladas tempranas (Noble y Lebrija, 1957).

2.7.1 Efectos de orden fisiológico

2.7.1.1 Potencial hídrico y sus componentes

El agua en suelos y plantas está sujeta a fuerzas causadas por la presencia de fase sólida, sales disueltas, presión de gases externos y a la gravedad. Estos efectos son cuantitativamente

expresados en términos del potencial de energía del agua (Gardner 1965, citado por Begg,). Los potenciales son medidos en bars, Joules x Kg, o pascales. El potencial total o potencial hídrico del sistema se divide en:

- a) Potencial osmótico, debido a la presencia de solutos disueltos.
- b) Potencial de presión, debido a la presión de turgencia actuando en las paredes celulares y membranas internas en plantas.
- c) El potencial mátrico, debido a las fuerzas de capilaridad y fuerzas de imbibición molecular asociadas con las paredes celulares (Begg,).

Millar y Garder (1972, citado por Moreno, 1993) encontraron que cuando el potencial hídrico en frijol disminuyó de -0.28 bares a -0.40 bares, la producción de materia seca se redujo en un 45 % (Moreno, 1993).

2.7.1.2 Ajuste osmótico bajo déficit hídrico

El ajuste osmótico, o acumulación de solutos por las células, es un proceso por medio del cual el potencial hídrico puede ser disminuido sin un decremento de la turgencia. El cambio en el potencial hídrico del tejido resulta desde cambios en la presión osmótica, el componente del potencial hídrico. El ajuste osmótico se desarrolla poco en respuesta a la deshidratación del tejido, sin embargo no es claro que sea una respuesta independiente y directa al efecto del estrés hídrico. El ajuste osmótico puede mantener la turgencia en bajos potenciales hídricos, esta turgencia capacita a la planta para la continuación de la elongación celular y facilita alta conductancia estomática en condiciones de déficit hídrico, Turner y Jones (1980, citados por Zeiger, 1991). En este sentido el ajuste osmótico es una aclimatación que engrandece la verdadera tolerancia a la deshidratación (Zeiger, 1991).

2.7.1.3 Transpiración bajo déficit hídrico

Una gran disminución en la tasa de transpiración y crecimiento en frijol, a moderado potencial hídrico del suelo, puede ser atribuida al incremento de la resistencia estomática, Kanamasu y Tanner (1969, citado por Moreno, 1993). Al reducirse la transpiración puede reducirse la producción de materia seca (Moreno, 1993).

2.7.1.4 Relación entre transpiración y resistencia estomática.

Hay una relación inversa entre transpiración y resistencia a la difusión de vapor de agua, a mayores tasas transpiratorias, menor resistencia a la difusión. El factor más importante que afecta a la resistencia es el grado de apertura de los estomas, el cual está influenciado principalmente por el potencial hídrico, PAR, concentración de CO₂ y el déficit de saturación de vapor de agua (Jarvis y Mansfield, 1981).

2.8 Morfología bajo efecto de sequía

2.8.1 Efecto del déficit hídrico sobre la raíz.

El déficit hídrico moderado realza la extensión del sistema radicular dentro del suelo. La relación V/R parece estar gobernada por un balance funcional entre el agua absorbida por la raíz y la fotosíntesis por el vástago. Aunque la relación V/R depende de complejos procesos de desarrollo y nutricionales, el concepto de balance funcional puede ser simplemente condicionado:

un vástago puede crecer hasta que el agua que toma la raíz puede llegar a ser limitante para el crecimiento. Inversamente, una raíz puede crecer hasta que su demanda de fotosintatos desde el vástago iguala el suplemento. Este balance funcional es cambiado si el aporte de agua disminuye. Cuando el agua absorbida es reducida, el proceso de expansión celular es afectado muy seriamente, pero la actividad fotosintética es mucho menos reducida. La inhibición de la expansión celular reduce el consumo de carbono y energía, y una gran proporción de asimilados de la planta son distribuidos hasta el sistema radicular donde se puede poco crecimiento. Los ápices de

las raíces pierden turgencia y el suelo seco por si mismo presenta estructura rígida. El crecimiento de la raíz dentro de suelos húmedos puede ser considerada una segunda línea de defensa contra la sequía. El engrandecimiento de la raíz dentro de zonas de suelo húmedo durante el estrés hídrico depende de la distribución de asimilados para el crecimiento de la raíz. Como alternativa de demanda de asimilados, los frutos generalmente predominan sobre las raíces, y los asimilados son dirigidos hasta los frutos y no hacia las raíces. La competencia por asimilados entre raíces y frutos es una explicación al hecho de que las plantas son generalmente mas sensible al estrés hídrico durante la reproducción (Zeiger, 1991).

2.8.2 Efecto del déficit hídrico sobre las hojas.

Las primeras respuestas al estrés parecen estar mediadas por efectos fisicoquímicos debido a la deshidratación. Como el contenido de agua de la planta disminuye, las células se encogen y las paredes celulares se relajan. Esta disminución en el volumen celular resulta de una baja presión hidrostática, o turgencia. Como la pérdida de agua aumenta y las células además se contraen, los solutos en las células llegan a estar más concentrados. La membrana plasmática llega a engrosarse y a comprimirse, y ocupa una área mas pequeña que antes. La pérdida de turgencia es el primer efecto biofísico significativo del estrés hídrico, por lo que las actividades dependientes de la turgencia, la mayoría son sensibles a los déficits hídricos. La expansión celular es un proceso dependiente de la turgencia y es extremadamente sensible al déficit hídrico. La disminución en la turgencia causada por el déficit hídrico causa una disminución en el crecimiento. La inhibición de la expansión celular resulta de una expansión celular lenta de la hoja por el mismo efecto. El área foliar pequeña transpira menos agua, conservando efectivamente el suplemento de esta en el suelo para usarla en períodos largos. La limitación del área foliar se considera una primera línea de defensa contra la sequía. El estrés hídrico limita el tamaño de hojas individuales y limita el número de hojas en una planta indeterminada porque disminuye el número y

la tasa de crecimiento de las ramas. El proceso de crecimiento del tallo ha sido menos estudiado en estrés hídrico, pero probablemente es afectado por las mismas fuerzas que limitan el crecimiento del área foliar durante el estrés (Zeiger, 1991).

Efecto de eliminar las hojas

Tanaka y Yamaguchi (1972) reportan que la teoría de la fuente y la demanda fisiológica es un instrumento útil para discutir la producción de materia seca. En la planta durante el llenado de grano, las hojas pueden ser consideradas como la fuente y en este caso los ejotes o la vaina como la demanda fisiológica. Ellos informan que una defoliación total se traduce en una nula producción de grano. La supresión de las hojas ocasiona un abatimiento drástico del peso del grano por lo que se esperó que los tratamientos con área foliar del 50 % presentaran tanto en sequía y riego una producción de grano mucho menor que los tratamientos con área foliar del 100 %.

Debido a la disminución del área foliar se abaten peso seco del grano y el peso total de la planta. También se menciona que la disminución del área foliar ocasiona un incremento de la velocidad de producción de materia seca por unidad de área durante el llenado de grano.

2.8.3 Efecto del déficit hídrico sobre el rendimiento

El efecto relativo del tallo y la raíz de diferentes genotipos de frijol sobre el rendimiento bajo condiciones de sequía fueron reportados por White y Castillo (1989, citado por Moreno, 1993) mostrando que los genotipos con abundante raíz tienen un efecto significativo sobre rendimiento de semilla pero los genotipos de tallo ancho no tienen efecto. No hay interacción entre tallo y raíz, demostrando que las características de tallo son de menor importancia. Sponchiado et al (1989) demostraron que el crecimiento de la raíz de cuatro cultivares de frijol está relacionado con la tolerancia a la sequía en diferentes ambientes y en diferentes tipos de suelos. Brower, citado por Kramer (1974), ha demostrado

que el mayor crecimiento de la raíz se presenta entre los 20 y 30 cm., mientras que ha 5, 10 y 35 cm. se produce poco crecimiento, como consecuencia de la tensión hídrica causada por la absorción de agua, tanto a temperaturas bajas como a altas (Moreno, 1993).

2.9 Efectos de la sequía sobre la fotosíntesis

Schneider y Childers (1941), Gaastra (1959), Brix (1962), Troughton y Slatyer (1969), Boyer (1970); (citados por Sullivan, 1974) concluyeron que la fotosíntesis disminuía con el aumento del potencial hídrico debido primeramente al incremento de la resistencia estomática a la difusión. Slatyer (1969, op. cit.) concluyó que el aumento del cierre estomático como primer mecanismo por el estrés guía a la reducción neta de la fotosíntesis. También observó que el cierre estomático llevó a un incremento de la temperatura, y que los efectos indirectos del estrés hídrico respecto a la fotosíntesis llevan a los efectos de deshidratación. Fraser y Bidwell (1974, citados por Moreno, 1993) encontraron que en frijol la fotosíntesis neta se incrementa con la floración. Se han hecho varios intentos para determinar si hay efectos directos del estrés hídrico en la fotosíntesis en la señal de fijación y reducción de CO₂. Huffaker et al. (1970, citado por Sullivan, 1974) mostró que el efecto del estrés hídrico es poco en la actividad de la fosforibulocinasa y la ribulosa 1,5-difosfato carboxilasa en cebada, aunque PEP carboxilasa disminuyó con el aumento del estrés, este también llevó a una reducción de la fosforilación (Sullivan, 1974). La inducción de fluorescencia puede proporcionar conocimiento profundo dentro del mecanismo de daño por sequía. Generalmente se piensa que durante los primeros segundos de excitación la producción de fluorescencia refleja la transferencia de electrones. En hojas de sauce sujetas a sequía, la actividad de reducción del ciclo del carbono y especialmente la enzima carboxilante, ribulosa-1,5-bifosfato carboxilasa/oxigenasa, es disminuida. Así, estas hojas pueden ser menos sensibles que aquellas hojas control a elevadas concentraciones de CO₂ durante la inducción de fluorescencia. La razón FV/FM es menor en hojas sometidas a sequía, sin embargo, la observación de las tasas de

FV/FM en hojas de sauce no proporciona alguna información en estrés de sequía y confirma que la fotoquímica de estas hojas no es afectada hasta el extremo de sequía. El efecto de la sequía es engrandecido por una leve disminución de la condición del nitrógeno (Orlen, 1990).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Ubicación del experimento

Se llevó a cabo en las instalaciones de la Unidad de Morfología y Función de la UNAM Campus Iztacala en un invernadero rústico de 2.50 m de altura por 1.00 m de ancho, cubierto de plástico y con plancha metálica a una altura de 70 cm aproximadamente y con los extremos sin tapar para la libre circulación del aire.

3.2 Material genético

Las variedades de frijol que se trabajaron fueron: variedad Negro Querétaro y variedad Negro Jamapa, semilla certificada proporcionada por el Laboratorio de Bioquímica de la Unidad de Morfología y Función de la UNAM Campus Iztacala.

3.3 Fases fenológicas de referencia

Las evaluaciones se llevaron a cabo en las fases de plántula, floración, llenado de grano y rendimiento.

3.4 Tratamientos de riego y sequía

Los tratamientos que se trabajaron fueron con 20 % de Humedad Aprovechable y 70 % de Humedad Aprovechable, con A.F. del 100 % y 50 %, para las dos variedades.

3.5 Preparación de material biológico

Las semillas se examinaron, desechándose las que presentaban cubierta rota, perforación de los cotiledones por gorgojos, las que no tenían cubierta, etc.

3.6 Curva de referencia de la humedad del suelo

Se tomó de una curva patrón proporcionada por el Biólogo Gumerciendo H. de la Cruz Guzmán, elaborada en el Laboratorio de Edafología del Colegio de Postgraduados.

3.7 Diseño Experimental

Se realizó la evaluación de variables de respuesta de plantas de *Phaseolus vulgaris* L. variedad Negro Jamapa y variedad Negro Querétaro sometidas a dos condiciones de humedad de acuerdo a condiciones de precipitación de la mesa central de nuestro país consistentes en baja precipitación a lo largo del ciclo de cultivo y buena precipitación a lo largo del ciclo de cultivo. El experimento se llevó a cabo utilizando un diseño con un arreglo completamente al azar con un total de 160 unidades experimentales con 2 variedades de *Phaseolus vulgaris* L. correspondiendo 80 para fase de plántula, 40 para fase de floración, en la fase de llenado de grano no se obtuvieron evaluaciones destructivas y 40 para rendimiento. Durante la investigación se realizaron cuatro evaluaciones coincidentes con tres fases fenológicas del desarrollo del meristemo apical:

- 1.-Plántula (que se consideró hasta después de un mes de sembrada).
- 2.-Floración (que se determinó cuando el 50% de las plantas en cada tratamiento, presentaron inflorescencia).
- 3.-Llenado de grano.

La cuarta evaluación abarcó la medición de rendimiento agronómico y rendimiento biológico. En fase de plántula se evaluaron 10 plantas para cada uno de los tratamientos, para las tres fases restantes se evaluaron 5 plantas para cada tratamiento.

Material Biológico

El material biológico (*P. vulgaris* L. var. Querétaro y Jamapa) que se trabajó en ésta investigación fue proporcionado por el M. en C. Sergio Gonzalez Moreno de la ENEP Iztacala. El área foliar se

redujo por corte manual a un valor de 50 % con respecto al tratamiento testigo. Se realizaron 3 evaluaciones de las variables antes mencionadas; las fisiológicas en fase vegetativa (de plántula), floración y llenado de grano; las morfológicas en fase vegetativa (de plántula), floración y rendimiento. Las mediciones se realizaron en ciclos diurnos con intervalo de 2 horas. La primera medición se realizó a las 8:00 horas y la última se realizó a las 18:00 horas en fase vegetativa y de floración; en fase de llenado de grano la primera medición se realizó a las 10:00 horas, y la última se realizó a las 18:00 horas.

3.7.1 Tratamientos Experimentales.

Tratamientos Plántula Floración Llen. de grano Rend.

	Plántula	Floración	Llen. de grano	Rend.
1	Riego	Riego	Riego	Area Foliar 50%
2	Riego	Riego	Riego	Area Foliar 100%
3	Sequía	Sequía	Sequía	Area Foliar 50%
4	Sequía	Sequía	Sequía	Area Foliar 100%

Con los siguientes intervalos de humedad:

Sequía.....20% de H.A.

Riego.....70% de H.A.

3.7.2 Unidad Experimental

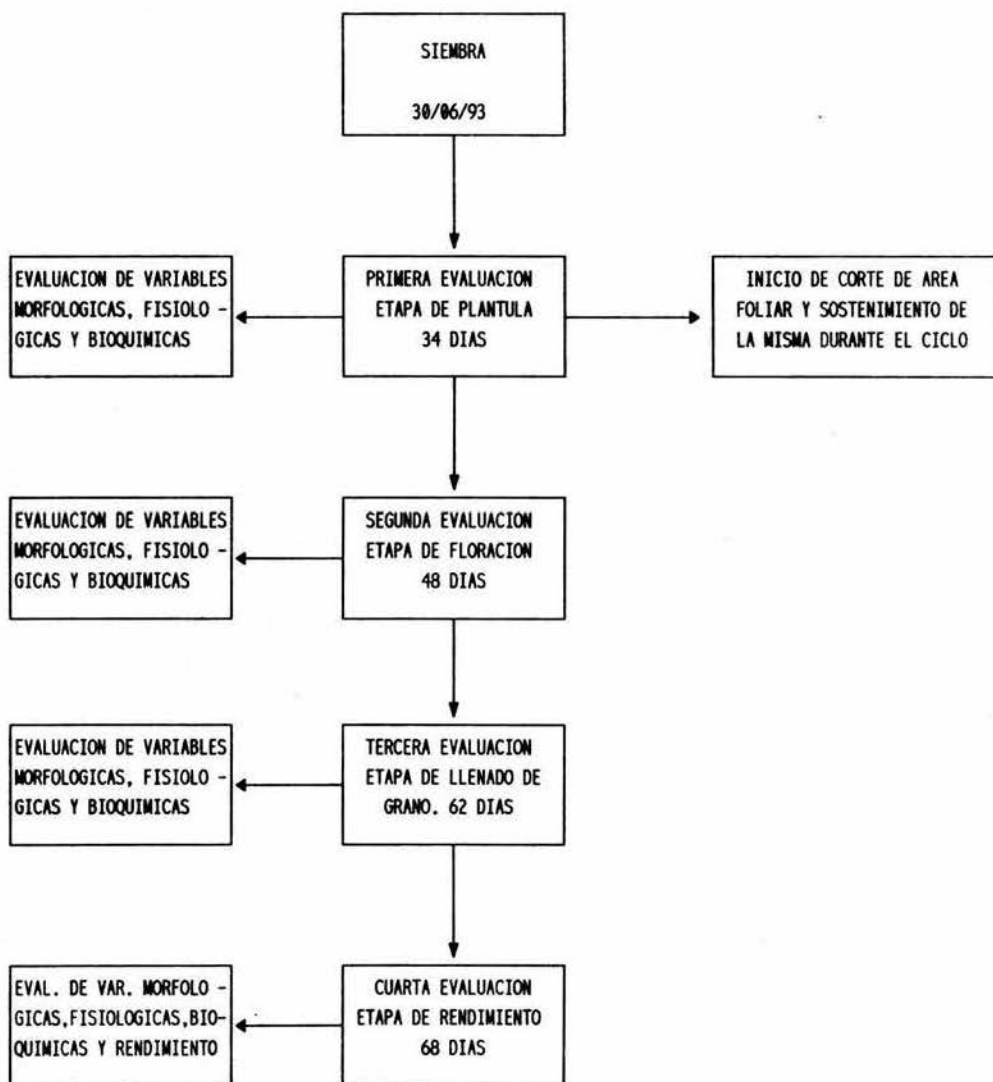
Se emplearon bolsas de plástico negro de 40 x 40 cm. con 2500 g de sustrato de agrolita:tierra en proporción de 2:1 para las etapas de término de estado vegetativo, floración y rendimiento, mientras que para el caso del estado de plántula se utilizaron bolsas de 10 X 15 cm con 450 g de la mezcla antes señalada para cada una en la misma proporción.

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA INVESTIGACION

Phaseolus vulgaris L. var. Negro Jamapa

32

y Negro Queretaro



3.7.3 Características evaluadas

El gran volumen de información disponible sobre resistencia a la sequía (RS) puede facilitar la elección de la variable de respuesta (VR) dependiendo del marco teórico que sustente el que se escoja una y no otra. Las variables de respuesta que son a menudo citadas en la literatura abarcan un gran rango de aspectos que de manera genérica se podrían agrupar en variables fisiológicas, morfológicas, anatómicas, fenológicas, bioquímicas e índices fisiotécnicos de las cuales, su elección depende del interés del investigador y/o hipótesis abordada.

A continuación se presenta una relación de las variables evaluadas en la presente investigación clasificadas en seis rubros generales: morfológicas, fisiológicas, fotoquímicas, medio ambientales e índices que utilizan combinaciones de las anteriores, velocidad de crecimiento y/o acumulación de biomasa y fenológicas.

3.7.3.1 De orden morfológico

a) Observaciones del sistema radical

Se evaluó:

- Longitud de la raíz
- Peso seco de raíz

b) Observaciones de la parte aérea

Medición de peso seco de las diferentes partes de la planta en sus diferentes etapas fenológicas (Distribución de Biomasa).

Se evaluó:

- Diámetro del tallo
- Altura de la planta
- Área foliar total
- Peso seco Total

- Peso seco de hojas
- Peso seco de tallo
- Peso seco de grano

3.7.3.2 De orden fisiológico

Se evaluó:

- La transpiración
- La resistencia a la difusión.

3.7.3.3 De orden fotoquímico

Se evaluó: Fotosíntesis.

- Fo (Fluorescencia inicial)
- Fm (Fluorescencia máxima)
- Fv (Fluorescencia variable)

3.7.3.4 Evaluaciones Medio ambientales.

- PAR (Radiación Fotosintética Activa)
- Humedad Relativa
- Temperatura

3.7.3.5 Indices

a) Fisiotécnicos:

Relación Area Foliar
Razón vástago/raíz

b) Fisiológicos

Índice FV/FM (Eficiencia fotoquímica).

Transpiración.

Fotosíntesis por fluorescencia.

-Fluorescencia inicial	F0
-Fluorescencia media	FM
-Fluorescencia variable	FV
-Relación	FV/FV

3.7.3.6 Velocidad de crecimiento y/o acumulación de biomasa

- Relación área foliar
- Fenología:
 - Días a emergencia de panoja
 - Días a madurez fisiológica
 - Días a llenado de grano
 - Días a cosecha

3.7.4 Manejo de variables de respuesta.

Se determinó el impacto diferencial de la sequía sobre las variables de respuesta y variedades estudiadas considerando que variables son afectadas y cuales no y que correlación presentan con índices de cosecha, rendimiento y resistencia a la sequía en su modalidad de evasión. Adicionalmente se estableció que variedad en estudio posee la capacidad de utilizar estrategias a la sequía y cual no.

El desglose de las variables a evaluar involucra aquellas que se miden directamente (peso seco, área foliar...) y aquellas que se calculan a partir de las variables medidas (relación de área foliar = área foliar /peso seco total) razón por la cual presentamos la metodología de las primeros, seguida de un glosario de las variables de respuesta (VR) calculadas. Para su manejo las variables se agruparon en rubros afines acompañados de una brevísima descripción de su tratamiento ulterior.

3.7.5 Morfometría básica.

Se determinó para cada tratamiento el porcentaje de biomasa y el número de estructuras (hojas, tallos, etc.) obtenida para cada parte comparándola con la asignada a rendimiento agronómico y biológico para estimar eficiencias de los tratamientos y con ello definir la existencia o no de correlación de tales variables con rendimiento biológico, rendimiento económico y resistencia a la sequía (componentes fisiológicos que mantienen un estado hídrico turgente i.e. evadiendo la sequía).

Peso seco total (rendimiento biológico) (PST)

Peso seco de hojas (PSH)

Peso seco de raíces (PSR)

3.7.6 Fenología

Se midieron las posibles alteraciones de estas variables por efecto de los tratamientos estudiados (precocidad, retardo con respecto al control) así como sus correlaciones con índice de cosecha y rendimiento agronómico.

Días a emergencia de flores (prefloración).

Días a madurez fisiológica.

Días a llenado de grano.

Días a cosecha.

3.7.7 Índices fisiotécnicos

Se compararon las distintas variables entre los tratamientos y con respecto al control con el objeto de ubicar las correlaciones que pudiesen presentarse con el índice de cosecha, el rendimiento agronómico y demás variables.

Relación de área foliar (RAF)

Razón vástago/raíz (V/R)

3.7.8 Índices fisiológicos

Al medir estas VR se pretendió caracterizar aquellas correlacionadas con el logro de la producción de semilla en condiciones favorables y desfavorables así como la resistencia de las variedades.

Para el caso del presente trabajo, la primera evaluación (estado de plántula) se realizó 30 días después de la emergencia de las plántulas debido a que en este tiempo alcanzó un porte aproximado de 20 cms con lo cual ya fue factible realizar las evaluaciones respectivas. Las evaluaciones subsecuentes no necesariamente se realizaron en los mismos momentos, pues se consideró que los tratamientos dieron un efecto diferencial en los días en que llegaron al término del estado vegetativo y a la floración. La sincronización de los cuatro tratamientos, si bien no se consideró probable, el efecto del fotoperiodo pudiera inducir la floración en virtud de que esta planta se ha reportado como de días cortos (C3) por lo que tal contingencia se procuró "amortiguar" con una fecha temprana de siembra y establecimiento del cultivo.

3.7.9 Orden de las evaluaciones

El número de repeticiones totales por tratamiento fue de 80 lo que significa que se utilizaron 20 para cada una de las tres evaluaciones morfofisiológicas quedando las restantes para la determinación de índice de cosecha, rendimiento biológico y rendimiento económico. Asimismo, sabemos que el manejo de VR elegidas implicaron trabajo en invernadero (variables morfométricas, fisiológicas y aquellas asociadas a tolerancia a sequía), las restantes fueron de apreciación visual (variables fenológicas).

Las evaluaciones involucraron esencialmente variables morfométricas y fisiológicas las cuales fueron evaluadas de la manera siguiente:

a) Primeramente se evaluaron las variables no destructivas en la totalidad de las repeticiones como son:

- 1) Fotosíntesis (hojas superiores).
- 2) Transpiración (en la cual se midió la pérdida de agua con un día de anticipación debido a que se registra de un período de 12 horas previo a la determinación del área foliar).

b) Determinadas las variables anteriores se evaluaron las variables semidestructivas (por medir algunas partes de la planta en la totalidad de las repeticiones):

3) Área foliar total por planta y por tratamiento. Debido a que en los tres casos se utilizaron hojas, se midió previo a la evaluación del área foliar afectada para sumarla al área foliar total.

c) Finalmente, se evaluaron las variables destructivas que abarcan:

- 1.-Peso seco total.
- 2.-Peso seco de hojas.
- 3.-Peso seco de raíces.
- 4.-Longitud de raíces.

Las variables calculadas no se consideraron para efectos operativos de trabajo de laboratorio puesto que corresponden esencialmente a trabajo de gabinete.

3.7.10 Descripción de técnicas de evaluación

A continuación se presenta un apartado de las técnicas trabajadas en las que se incluye una breve descripción de su significado en relación al agobio hídrico.

a) Determinación de Peso Seco Total

La determinación del peso seco para el presente caso nos muestra el potencial que presenta la planta en condiciones limitantes que finalmente presentaron una conexión con el proceso fotosintético y que fue punto clave de la respuesta al estrés hídrico. De esta manera tenemos que la determinación porcentual del peso seco en la planta sometida a estrés puede ser un reflejo del impacto diferencial de la sequía en hojas, tallos, raíces...manifestada a través de la alteración de sus proporciones al compararlas con los testigos sometidos a riego.

En este apartado se incluyen PST, PSH, PSR, etc. de las plantas, mencionadas arriba, las cuales después de ser debidamente separadas y etiquetadas se procedió a colocarlas a una temperatura de 70 °C durante 48:00 horas al cabo de las cuales se pesaron de inmediato para capturar los datos antes de que las plantas se rehidratasen en sus partes.

b) Longitud de raíces

La alteración de la longitud de las raíces es un fenómeno bien documentado en cuanto a su incremento en condiciones de agobio hídrico explicada en términos de exploración radical en zonas profundas del suelo con niveles de humedad aprovechable asequibles para la absorción de agua.

La medición se facilitó debido a que la mezcla del suelo fue agrolita:tierra a efecto de facilitar la extracción de las raíces.

c) Area Foliar Total

Según May y Milthorpe (1962, citado por Villasana, 1968) los órganos de la planta son afectados diferencialmente cuando la planta se ve sujeta a déficit hídrico al presentarse este de una manera severa; los órganos más afectados y los que menos se recuperan después de un riego son las hojas. El A.F. se midió con un integrador de fluorescencia.

d) Transpiración

Cuando se sobrepasa la velocidad de absorción por un exceso de transpiración se presenta un déficit de agua para la planta. La humedad del suelo es un factor determinante, así como la humedad relativa del ambiente (Arriaga, 1985). Según Hall y Schulzel (1980) citados por Villasana (1988) las plantas sometidas a sequía pueden escapar a esta manteniendo bajas tasas de transpiración, ya sea mediante la reducción del área foliar, abscisión de hojas y resistencia estomatal entre otras.

La transpiración se determinó utilizando un Porómetro de difusión LI-1600, el cual nos da una lectura directa de dicho parámetro.

e) Fotosíntesis

El área foliar y la actividad fotosintética de las hojas son quienes principalmente determinan la capacidad fotosintética de la planta.

Una forma de ubicar tal situación, se logra midiendo la fluorescencia del PS II resultante de la excitación de la clorofila. La evaluación se realizó PEA marca Hansatech y cuyo manejo consiste en un sensor con el que aprisiona la hoja sin dañarla el cual tiene integrada una fuente luminosa regulable de luz actínica para la fotosíntesis, y un detector de fluorescencia conectados a un aparato de control y visualización de resultados, el cual se dio en unidades relativas.

f) Índice Vástago/Raíz

Entre el vástago y la raíz existe una interdependencia pues mientras uno depende del otro para anclaje y suministro de nutrientes inorgánicos, el otro depende del primero para su nutrición orgánica. La razón vástago/raíz nos permite tener una medida de la distribución de asimilados en la formación de órganos aéreos y subterráneos (Arriaga, 1985; Medina, 1977).

$$\text{Indice V/R} = \frac{\text{Peso Seco aéreo de la planta}}{\text{Peso seco de las raíces}}$$

g) Relación Area Foliar

Definida como área foliar/peso seco total, nos indica per se las relaciones entre el fenómeno fotosintético y la biomasa producto de su actividad teniendo una planta que mantenga una baja relación ie. poca área foliar que sostenga una elevada biomasa significando eficiencia del proceso fotosintético máxime si ello sucede en condiciones de agobio hídrico. Para el caso de la evaluación se midió toda el área foliar lograda independientemente de que se haya caído con antelación a la evaluación respectiva.

h) Fenología

La totalidad de las determinaciones fenológicas se hicieron en el momento en que se estimó que se tuvo un 50 % de la variable evaluada, es decir, cuando se tuvo un 50 % de floraciones se anotó como el número de días a floración del tratamiento en cuestión. En este caso particular se esperaron respuestas diferenciales seleccionando aquellos tratamientos que acortaron su ciclo manteniendo una producción no muy alejada del tratamiento control ie. no más allá del 20 % de reducción tomando este criterio para fines de rentabilidad económica.

IV. Resultados y Discusión

CUADRO DE PRECOCIDAD DE LAS VARIEDADES

VARIEDAD Y TRATAM.	DIAS A FLORACION	PORCENTAJE	FORMACION DE EJOTE	PORCENTAJE
JRAF50	59	40 %	63 DIAS	40 %
JSAF50	59	50 % *	63 "	50 % *
JRAF100	59	50 %	63 "	50 %
JSAF100	59	100 % *	63 "	90 % *
QRAF50	53	40 %	55 "	10 %
QSAF50	53	50 %	55 "	0 % *
QRAF100	53	70 %	55 "	40 %
QSAF100	53	60 %	55 "	10 % *

4.1 Respuestas de orden morfológico bajo estrés hídrico

4.1.1 Peso Seco de Raíz

En las Figuras 1 y 2 se muestra el peso seco de raíz en plántulas de *P. vulgaris* L. var. Negro Jamapa y *P. vulgaris* Negro Querétaro se observa que no hay diferencias entre tratamientos independientemente si están sometidos a riego o a sequía, si tienen A.F. del 50 ó del 100 %; sin embargo se aprecia una tendencia en los tratamientos sometidos a sequía en las dos variedades de tener un mayor Peso Seco de Raíz, lo cual se atribuye a la sequía, este

comportamiento se interpreta como una respuesta de búsqueda de agua. así, el crecimiento de la raíz puede ser considerada una línea de defensa contra la sequía, es mayor en todas la etapas en las líneas resistentes a la sequía (Moreno, 1993). El aumento en peso seco de raíz respecto a los demás tratamientos se puede deber en este caso a una mayor proliferación de raíces adventicias o a un crecimiento muy alto de la raíz. Además en esta etapa de la planta, la misma planta por estar en proceso de crecimiento tiende a agotar el suministro de agua que hay en el suelo.

Figura 1. Peso Seco de Raíz en plántulas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Jamapa, sometidas a riego y sequía con A.F. del 50 y 100 %.

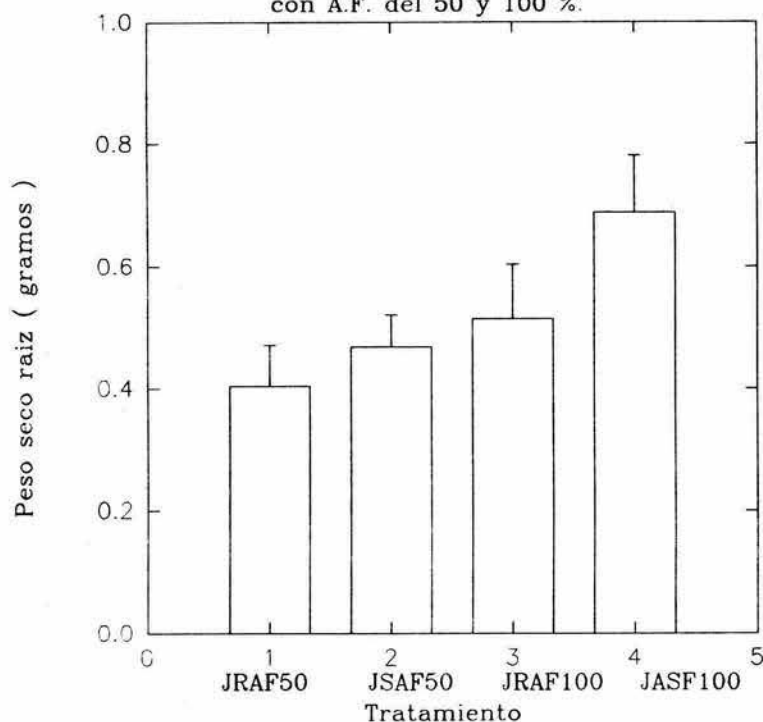
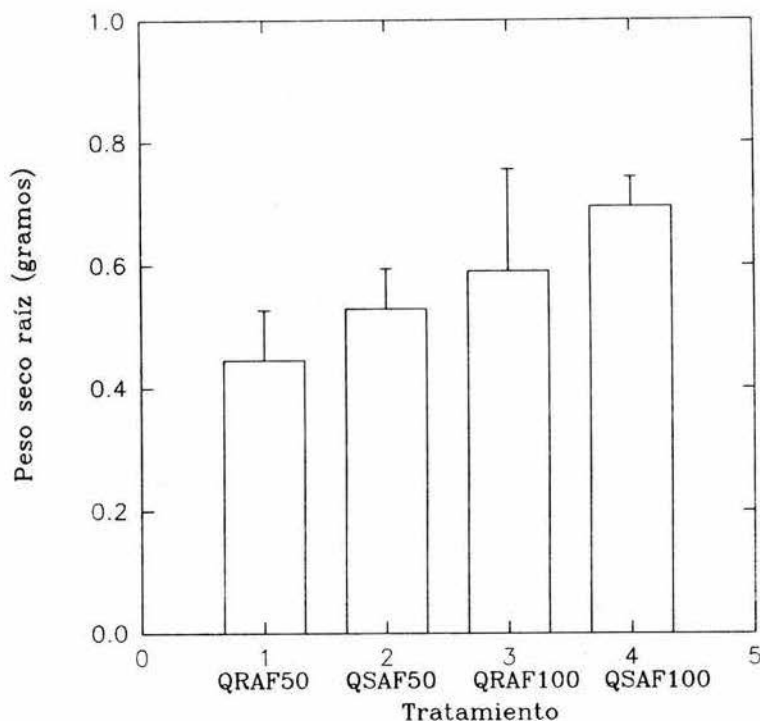


Figura 2. Peso Seco de Raíz en plántulas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Querétaro, sometidas a riego y sequía con A.F. del 50 y 100 %.



El mayor peso obtenido entre los tratamientos RAF100 y SAF100 con respecto a los tratamientos RAF50 y SAF50 en estado de floración en ambas variedades muestra, en nuestra opinión, un crecimiento proporcionado entre el corte del vástago y la raíz i.e. a mayor peso de hojas y tallo, mayor de raíz y viceversa. La ligera diferencia entre RAF100 y SAF100 puede ser atribuible al déficit de agua en este último, y es representativo de la respuesta en esta fase fenológica de floración (Figuras 3 y 4).

Figura 3. Peso Seco de Raíz en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Jamapa, sometidas a riego y sequía con A.F. del 50 y 100%. Etapa de floración.

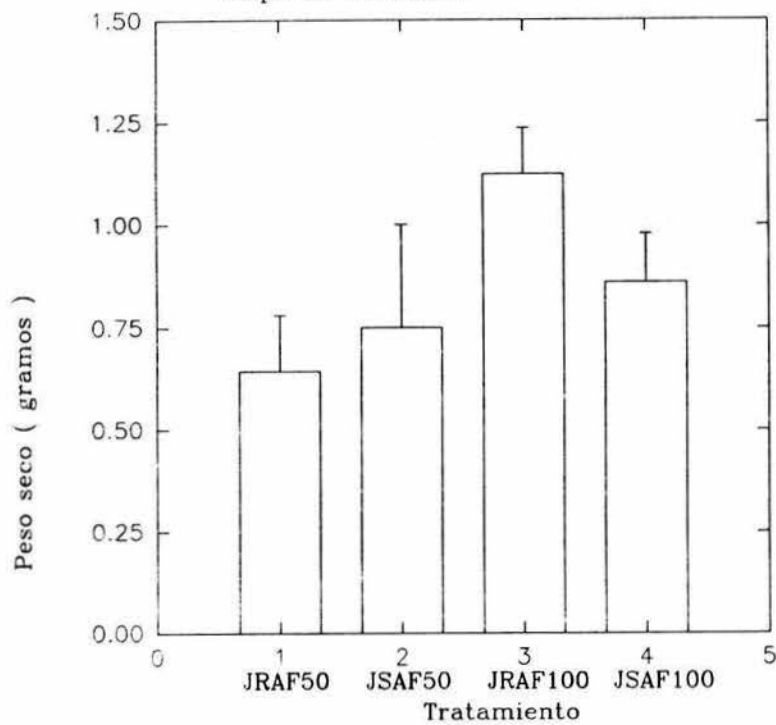
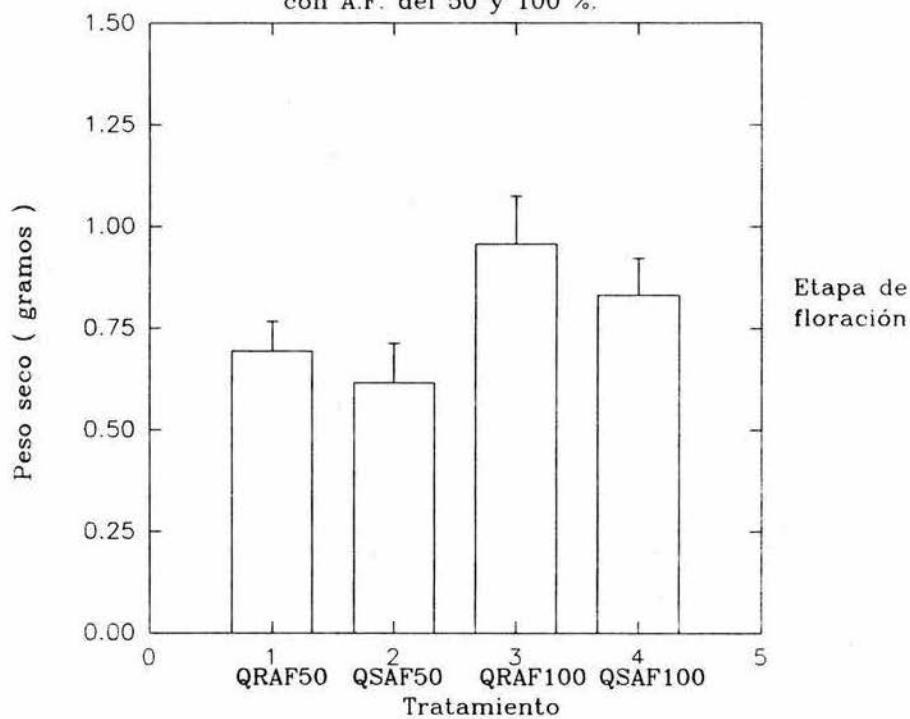
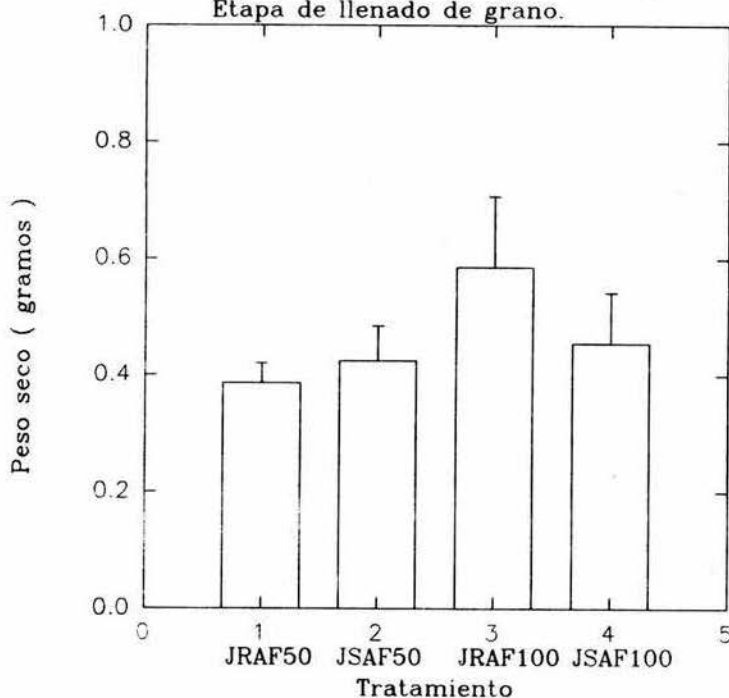


Figura 4. Peso Seco de Raíz en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Querétaro, sometidas a riego y sequía, con A.F. del 50 y 100 %.



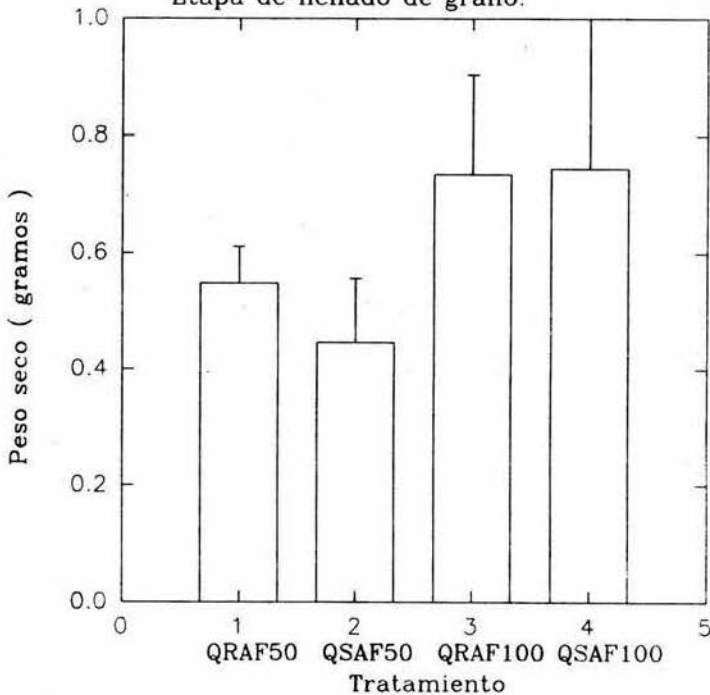
La Figura 5 nos muestra el peso seco de raíz en plantas de la var. Negro Jamapa en etapa de rendimiento donde se observa que no hay diferencias entre los tratamientos JRAF50, JSAF50 y JSAF100, el tratamiento testigo presenta un mayor peso seco de raíz debido a que este tratamiento recibe un aporte de agua adecuado y presenta el 100 % de A.F., la reducción del peso seco de la raíz en los tratamientos sometidos a sequía se debe al poco aporte de agua, en el caso de JRAF50 es consecuencia de la reducción del área foliar.

Figura 5. Peso Seco de Raíz en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Jamapa sometidas a riego y sequía, con A.F. del 50 y 100 % Etapa de llenado de grano.



En la Figura 6 tenemos la evaluación del peso seco de raíz en plantas de *P. vulgaris* var. Negro Querétaro en etapa de rendimiento, QRAF100 y QSAF100 no presentan diferencias, de hecho los pesos secos de la raíz de ambos tratamientos son iguales lo que implica que esta variedad en sequía se "esforzó" por alcanzar un peso seco de raíz igual que el testigo y "lo logra" como se muestra en la Figura 6. Respecto a los tratamientos QRAF50 y QSAF100 tampoco presentan diferencias lo que indica que esta variedad se ajusta a los niveles bajos de humedad para alcanzar el peso seco de raíz en sequía, aproximadamente igual al alcanzado en riego.

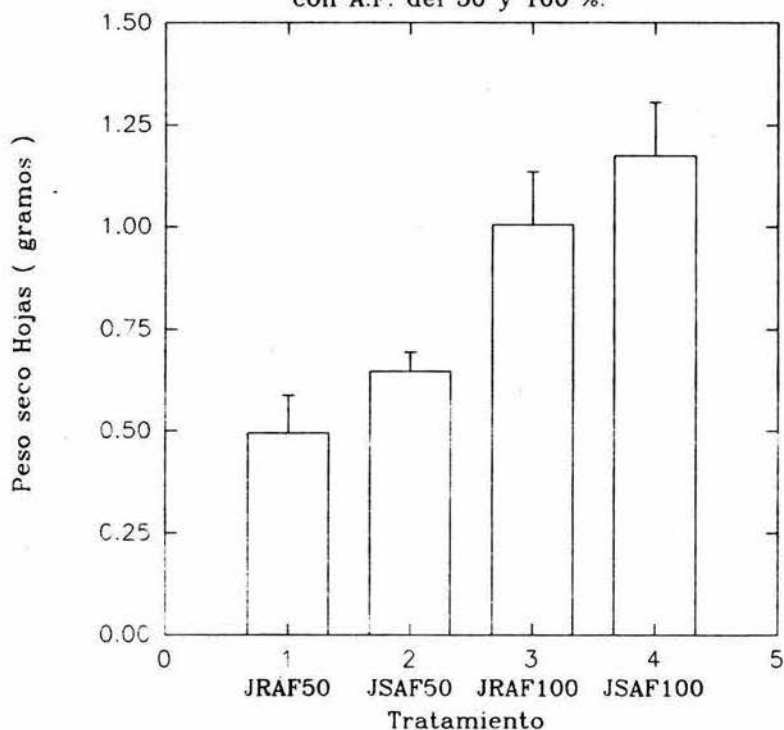
Figura 6. Peso Seco de Raíz en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Querétaro sometidas a riego y sequía, con A.F. del 50 y 100 %. Etapa de llenado de grano.



4.1.2 Peso Seco de Hojas

La Figura 7 muestra el peso seco de hojas en la var. Negro Jamapa en etapa de plántula, sometidas a riego y sequía con A.F. del 50 y 100 %. No existen diferencias entre los tratamientos JRAF50 y JSAF50, sin embargo sí se observa que el peso seco en JSAF50 es mas alto que en JRAF50, en los tratamientos JRAF100 y JSAF100 tampoco hay diferencias pero el peso seco mas alto está en JSAF100, los tratamientos que presentan mayor peso seco de hojas son los tratamientos sometidos a sequía porque la respuesta de las plantas al déficit hídrico en estos tratamientos fue tanto una alta frecuencia de caída de hojas como una producción acelerada de estas mismas que fueron evaluadas.

Figura 7. Peso Seco de Hojas en Plántulas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Jamapa, sometidas a riego y sequía con A.F. del 50 y 100 %.



En la Figura 8 se presenta el peso seco de hojas de *P. vulgaris* L. var. Negro Querétaro en etapa de plántula y nos muestra que igual que en *P. vulgaris* L. var. Negro Jamapa los tratamientos sometidos a riego QRAF50 y sequía QSAF50 no presentan diferencias, entre los tratamientos QRAF100 y QSAF100 tampoco las hay; también se nota que los tratamientos sometidos a sequía son los que presentan mayor peso seco de hojas, debido a que éstos responden al déficit hídrico con una alta producción y caída de ellas. La tendencia observada es que la velocidad de producción de hojas es mas alta en los tratamientos sometidos a sequía que en los de riego en esta etapa, ya que la planta presenta zonas de crecimiento las cuales se pueden caracterizar como demandas metabólicamente muy activas.

La Figura 9 muestra el peso seco de hojas en *P. vulgaris* L. var. Negro Jamapa en etapa de floración. En esta etapa la planta posee un peso foliar mas grande en condiciones de riego que en condiciones de sequía, así tenemos que entre JRAF50 y JSAF50 no hay diferencias en base al análisis gráfico del error estándar, pero entre JRAF100 y JSAF100 si existen diferencias; estas se deben a que la planta sometida a sequía sufre el efecto de esta con reducción del área foliar, manteniendo la caída de hojas que es el caso contrario del tratamiento de riego, in situ. En los hechos, la superficie transpiratoria en riego es mayor que en sequía; así pues, la limitación del A.F. es considerada una primera línea de defensa contra la sequía (Zeiger, 1991). Los resultados obtenidos para la variedad negro Querétaro (Figura 10) fueron similares a negro Jamapa. (QRAF50 es aproximadamente igual a QSAF50; QRAF100 es menor que QSAF100), siendo los valores alcanzados, en general, menores en negro Querétaro, mayores en negro Jamapa que finalmente son expresión de las características propias de la variedad.

La tendencia general es que en etapa de floración, los tratamientos en riego y sequía con A.F. del 50 % presentan un Peso Seco de Hojas similar, probablemente a que JSAF50 es doblemente estimulado por el corte del A.F. al 50 % y por la sequía y produce mas hojas, en la Fig. 30 se observa que JSAF50 tiende a aumentar ligeramente la eficiencia fotoquímica; en los tratamientos riego y sequía con A.F. del 100 % existen diferencias puesto que la sequía

en esta etapa daña más a la planta por ser mas sensible. En la var. N. Querétaro se observa que el comportamiento es normal; los tratamientos sometidos a sequía presentan menor Peso Seco de Hojas que los tratamientos sometidos a riego.

Figura 8. Peso Seco de Hojas en plántulas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Querétaro, sometidas a riego y sequía con A.F. del 50 y 100 %.

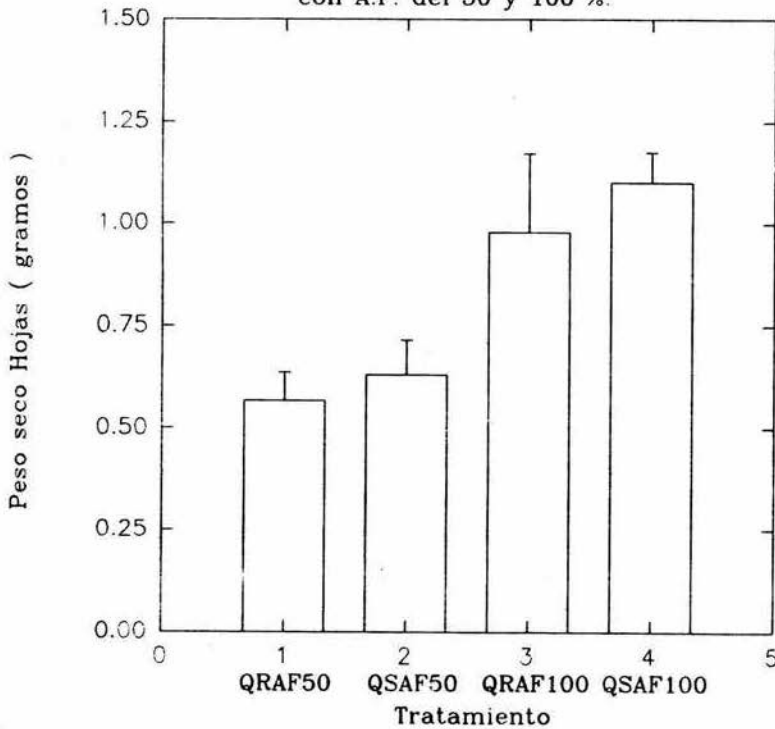


Figura 9. Peso Seco de Hojas en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Jamapa sometidas a riego y sequia con A.F. del 50 y 100 %. Etapa de floracion.

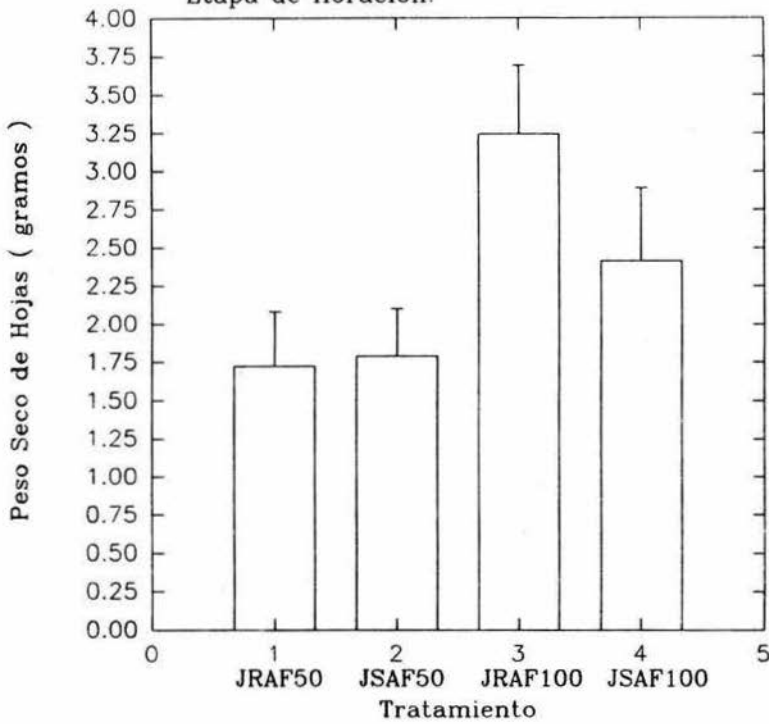
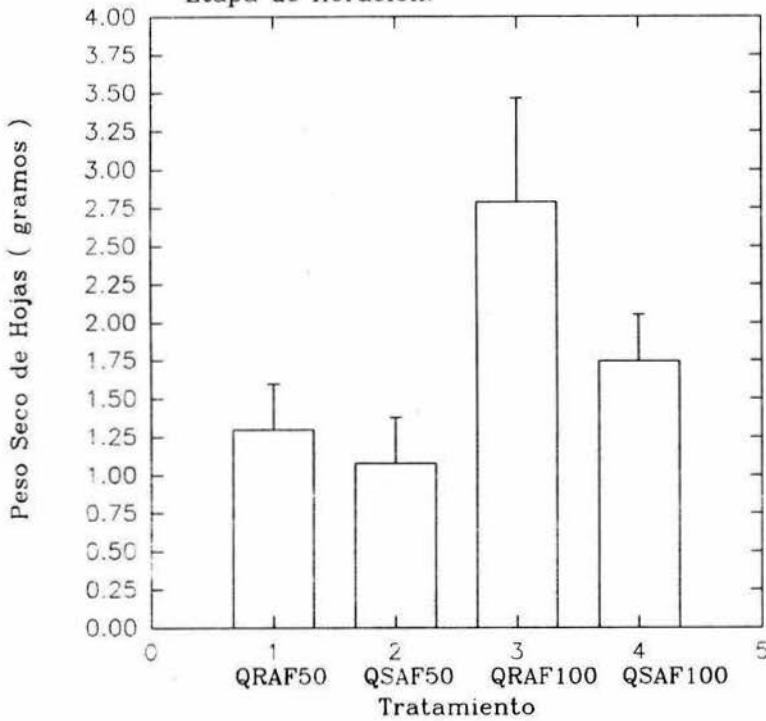


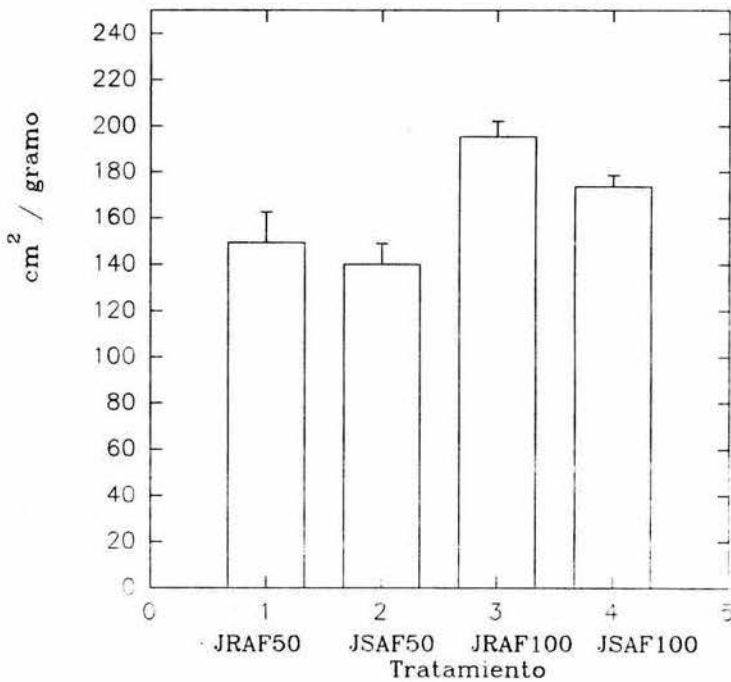
Figura 10. Peso Seco de Hojas en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Querétaro sometidas a riego-sequia con A.F. del 50 y 100 %. Etapa de floracion.



4.1.3 Razón Area Foliar (RAF)

En condiciones normales la RAF nos indica la eficiencia de producción de biomasa por el área foliar vía fotosíntesis, razón por la cual un área foliar reducida con una biomasa elevada sería el reflejo de eficiencia y consiguientemente una gran área foliar con poca biomasa indicaría ineficiencia de ésta. Por lo tanto, al comparar dos RAFA diferentes, aquella que presente valores superiores nos mostraría poca eficiencia.

Figura 11. Razón Area Foliar (RAF) en plántulas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Jamapa, sometidas a riego y sequía con A.F. del 50 y 100 %.



Las Figuras 11, 12, 13 y 14 presentan los valores de RAF para las dos variedades en etapa de plántula y floración respectivamente: los valores más pequeños los encontramos en los tratamientos sometidos a sequía debido a que estas plantas están estimuladas por el poco aporte de agua que reciben, tiran las hojas debido a esta condición tendiendo a producir más hojas por lo que se incrementa la biomasa. En apariencia, los tratamientos en condición de sequía son más eficientes por efecto de la estimulación (Coombs, 1988). También se infiere que las plantas

Figura 12. Razón Area Foliar (RAF) en plántulas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Querétaro. sometidas a riego y sequía con A.F. del 50 y 100 %.

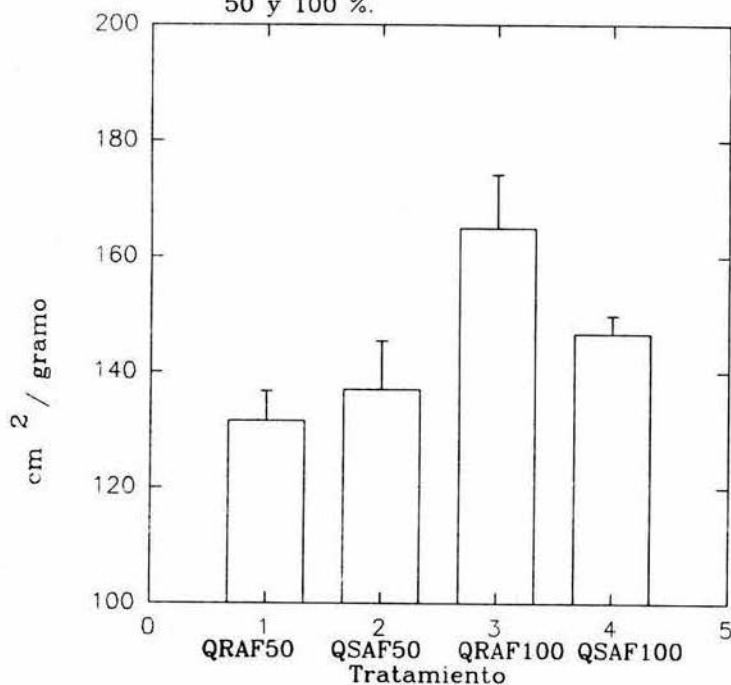


Figura 13. Razón Area Foliar (RAF) en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Jamapa, sometidas a riego y sequía con A.F. de 50 y 100 %.
Etapa de floración.

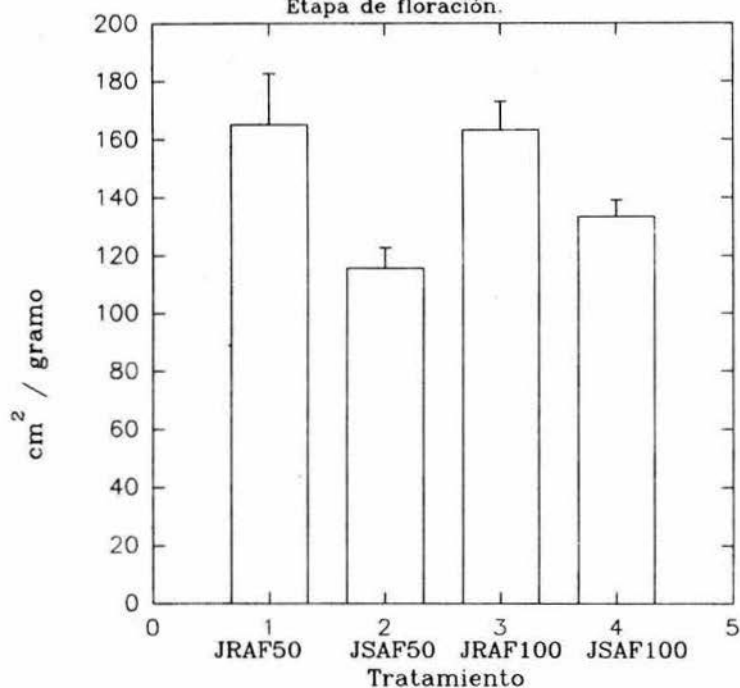
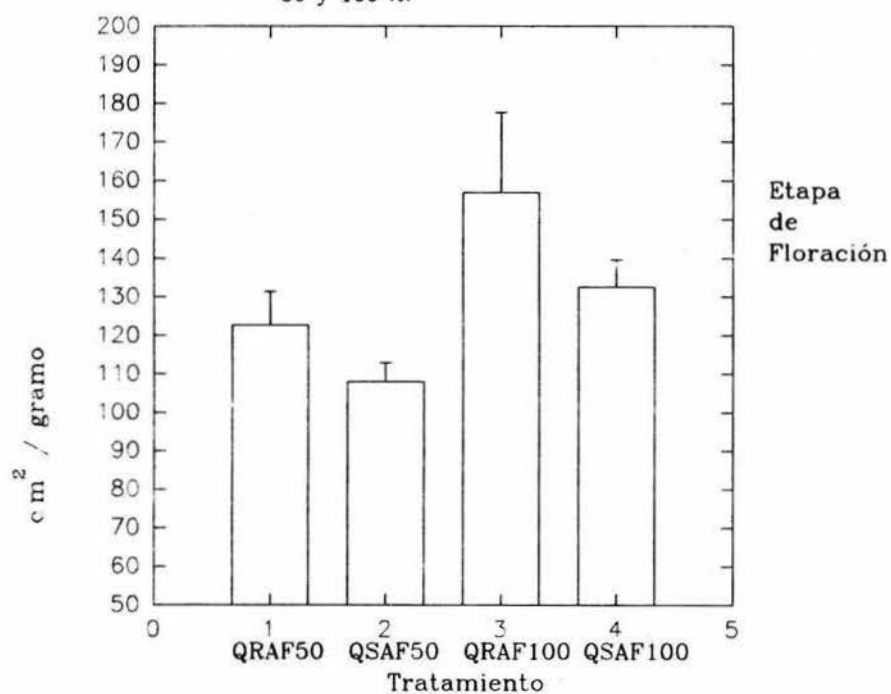


Figura 14. Razón Area Foliar (RAF) en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Querétaro sometidas a riego y sequía, con A.F. del 50 y 100 %.

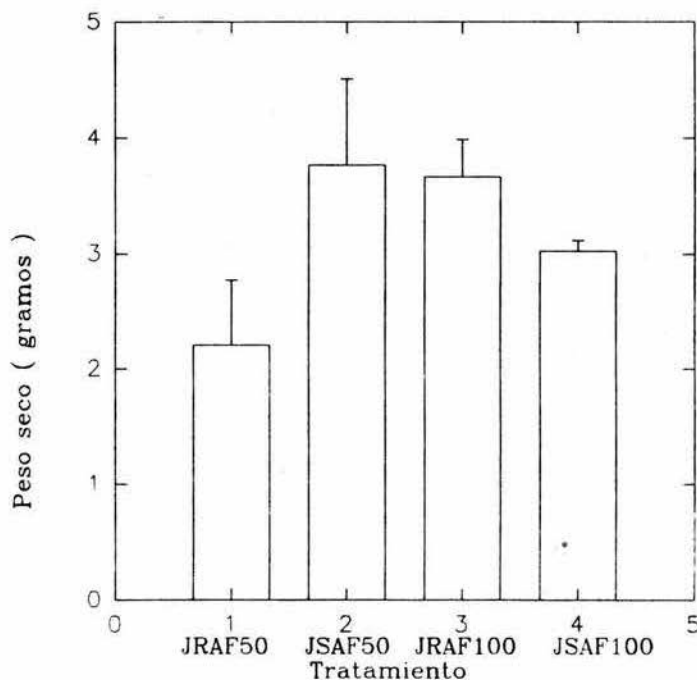


4.1.4 Razón Vástago/Raíz

Variedad Negro jamapa

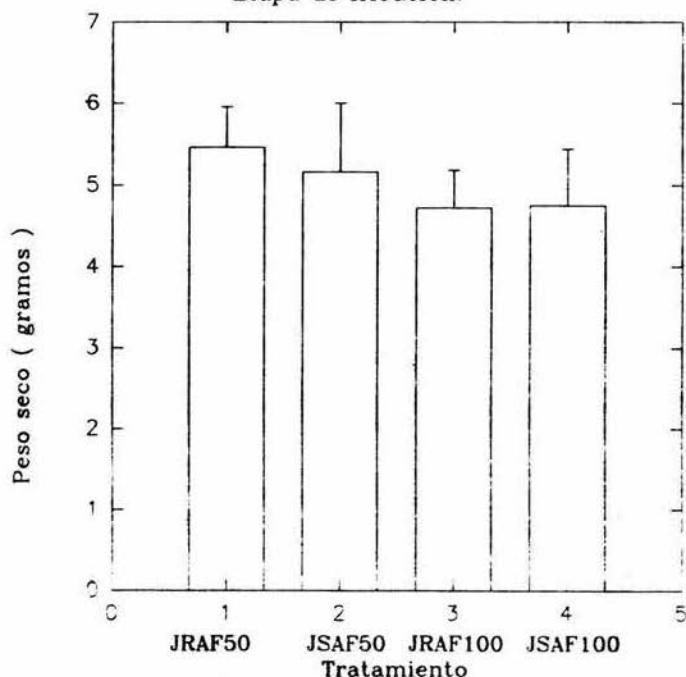
En la Figura 15 sobre la razón vástago/raíz en etapa de plántula, los mayores valores observados están en los tratamientos JSAF50 y JRAF100, el valor tan alto en JSAF50 se debió muy probablemente a un fenómeno de recuperación, producto del corte del 50 % de área foliar y de la condición de sequía, el valor de JRAF100 se explica por sí solo, es el tratamiento testigo. El tratamiento JRAF50 es el tratamiento en el que los valores de masa de raíz fueron mayores. Existen diferencias entre JRAF50 y JSAF50, entre JRAF100 y JSAF100. Se observa que JSAF100 tiene una raíz más grande por lo que este tratamiento muestra la tendencia a posponer los efectos de la desecación (Parsons, 1979).

Figura 15. Razón V/R en plántulas de Phaseolus vulgaris L. var. Negro Jamapa, sometidas a riego y sequía con A.F. del 50 y 100 %.



En etapa de floración en la Figura 16 hay una marcada recuperación del peso del vástago en JRAF50 siendo este tratamiento el que presenta un valor mas alto del peso del vástago, lo que podría asociarse a menor pérdida de hojas con respecto a JSAF50; sin embargo no hay diferencias entre JRAF50 y JSAF50, entre JRAF100 y JSAF100, la planta está en una condición equilibrada donde no hay diferencias ni por efecto del corte del 50 % del área foliar, ni por efecto de la condición de sequía, solo muestra una raíz más alta como respuesta a la sequía en los tratamientos sometidos a sequía (Mayaki y colaboradores, citado por Christiansen, 1987). Los valores de peso de vástago y raíz en esta etapa son mas altos con respecto a los valores de etapa de plántula.

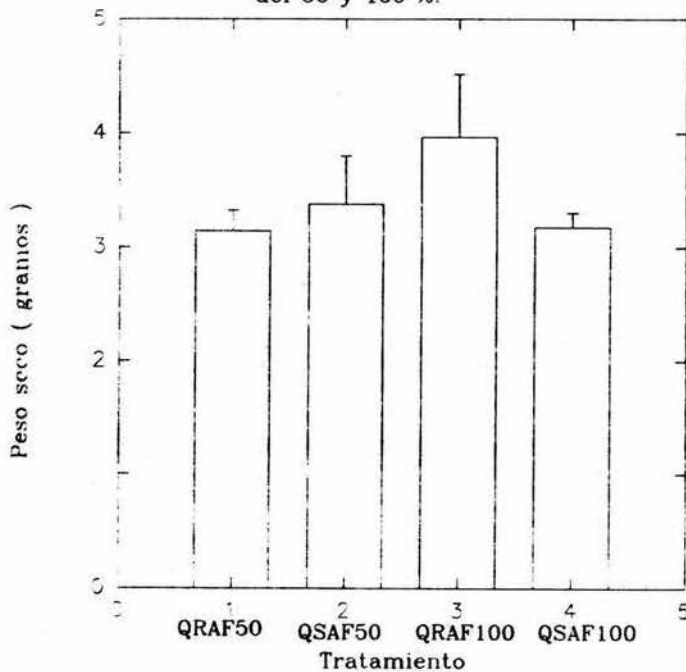
Figura 16. Razón V/R en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Jamapa, sometidas a riego y sequía con A.F. del 50 y 100 %.
Etapa de floración.



Variedad Negro Querétaro

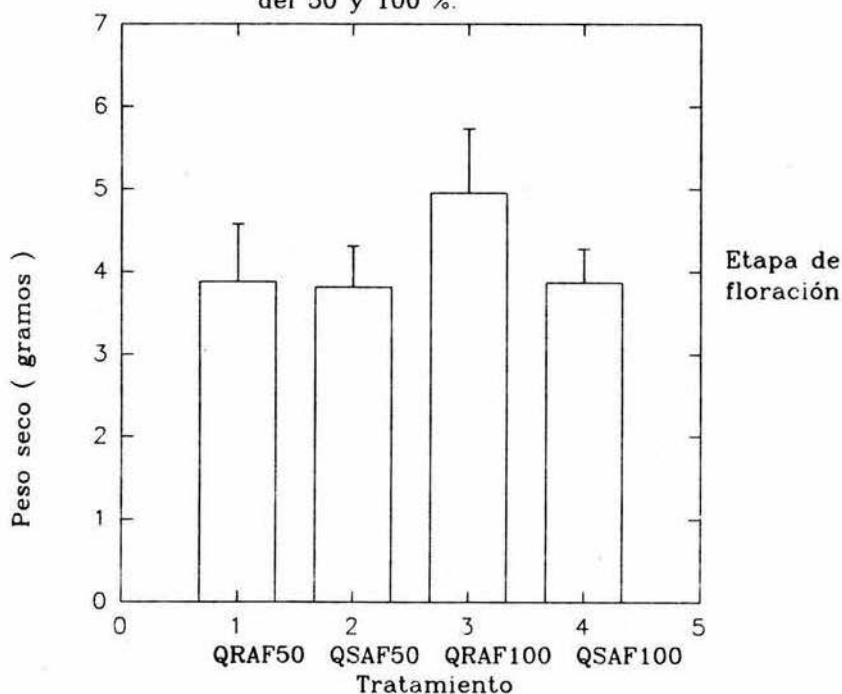
En la Figura 17 se muestran los valores de la razón V/R en etapa de plántula siendo QRAF100 (testigo) el tratamiento que presenta los valores mas altos de peso seco de vástago, entre los tratamientos QRAF50 y QSAF50 no existen diferencias, tampoco existen en los tratamientos QRAF100 y QSAF100, los tratamientos diferentes al testigo presentan un valor mas alto de raíz, no hubo respuesta ni a la reducción del área foliar ni a la condición de sequía ya que los tratamientos se comportaron igual.

Figura 17. Razón V/R en plántulas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Querétaro, sometidas a riego y sequía con A.F. del 50 y 100 %.



En la etapa de floración; Figura 18, se presenta la misma situación que en la etapa de plántula, QRAF100 es el tratamiento que presenta un valor más alto de peso del vástago, en los otros tres tratamientos no se observa una respuesta diferencial ni a la reducción del área foliar ni a la condición de sequía, no hay diferencia entre tratamientos. QRAF50 presenta una mayor A.F. porque pierde menos hojas, QSAF50 presenta menor A.F. ya que pierde y recupera más hojas que el anterior; QSAF100 presenta una reducción del A.F. con respecto a QRAF100 por efecto de la sequía.

Figura 18. Razón V/R en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Querétaro sometidas a riego y sequía con A.F. del 50 y 100 %.



4.1.5 Peso Seco Total

En la Figura 19 se observa el Peso Seco Total de plántulas de *P. vulgaris* L. var. Negro Jamapa; la producción de biomasa es más alta en JSAF100, lo que demuestra que estas plantas hicieron un eficiente uso del agua, comparadas con las plantas testigo, JRAF100. Esto se asocia con el elevado peso de la raíz que presenta (Fig.1); la condición de sequía hace que la planta dé una respuesta diferencial transpirando más que los otros tratamientos y por consecuencia esto se traduce en una biomasa mayor. Se menciona eficiencia de uso de agua en JSAF100. Por la apariencia que presentaban las plantas de este tratamiento pues nunca se detectaron síntomas de estrés severo, mas bien se considera un estrés moderado por lo dicho anteriormente. Entre JRAF50 y JSAF50 no existen diferencias aunque JSAF50 presenta mayor peso seco total debido a la respuesta antes mencionada, entre JRAF100 y JSAF100, tampoco hay diferencias. La tendencia es que las plantas sometidas a sequía alcanzan una mayor biomasa.

En la Figura 20 se tiene el Peso Seco Total en plantas de *P. vulgaris* L. var. Negro Jamapa en etapa de floración. El tratamiento que tiene los valores mas altos de biomasa es JRAF100, le sigue JSAF100 y entre estos tratamientos si hay diferencias que son consecuencia de la condición de sequía, pues en esta etapa la planta es más sensible al estrés hídrico y por lo tanto hay una reducción de la transpiración (Figura 2), por lo que también hay una reducción de la biomasa, además en esta etapa existe una regulación del metabolismo mas marcado de la planta, es un sistema fuente-demanda más equilibrado. Entre JRAF50 y JSAF50 no hay diferencias.

Figura 19. Peso Seco Total en plántulas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Jamapa, sometidas a riego y sequía con A.F. del 50 y 100 %.

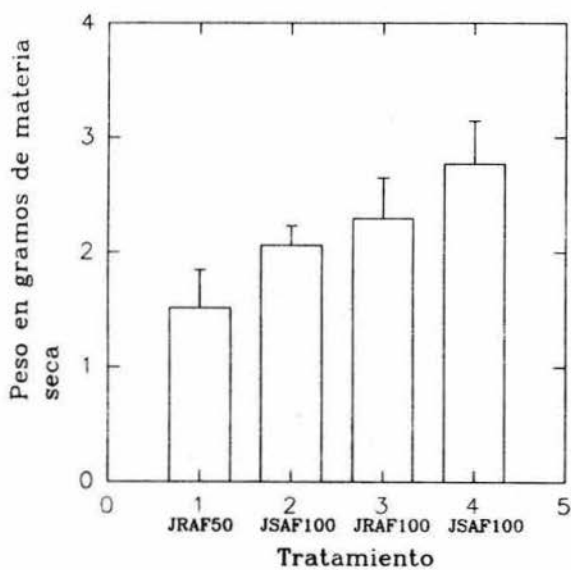
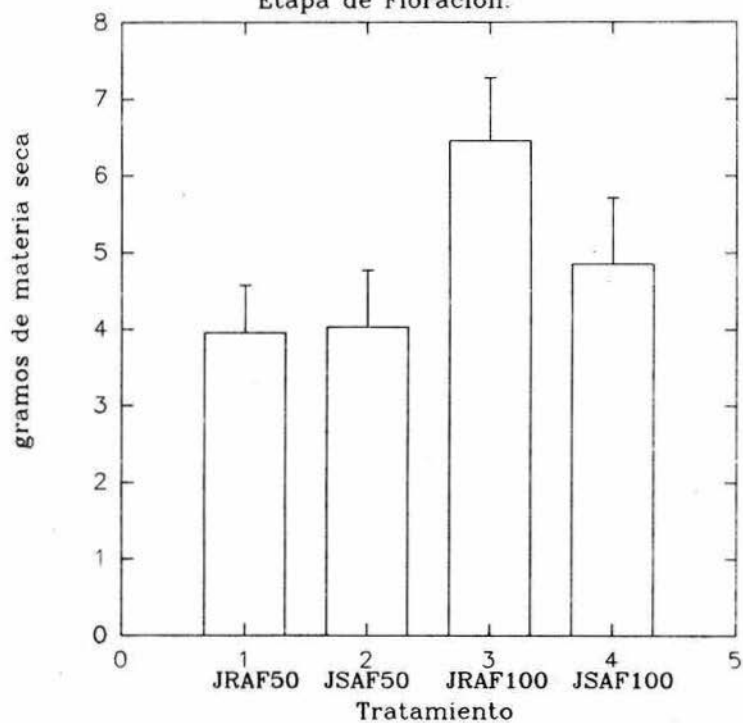
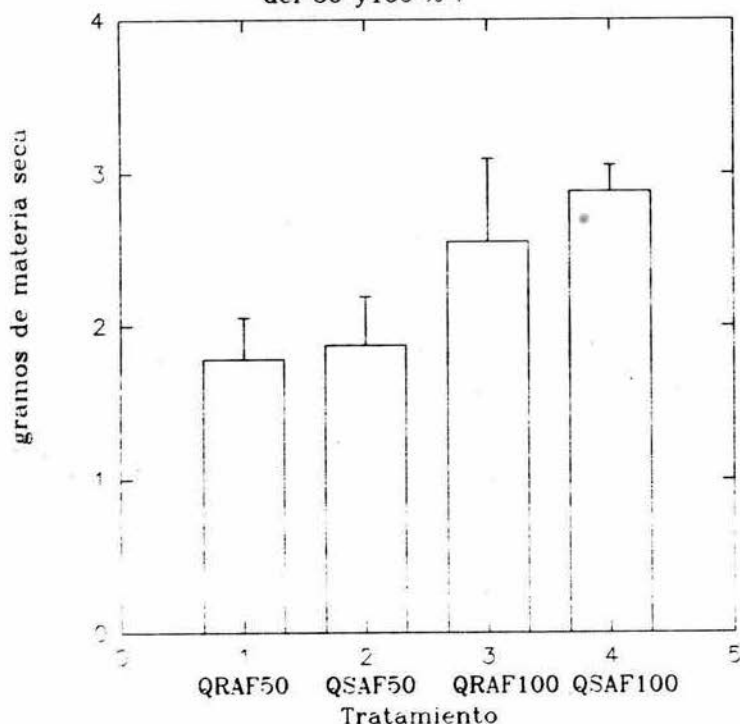


Figura 20. Peso Seco Total en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Jamapa, sometidas a riego y sequía con A.F. del 50 y 100 %. Etapa de Floración.



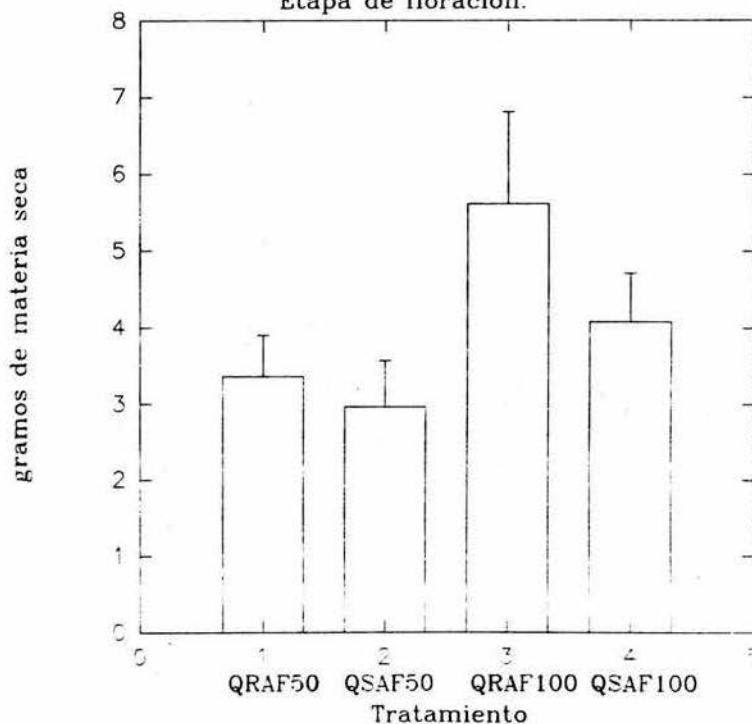
En la Figura 21 se presenta el Peso Seco Total de *P. vulgaris* L. var. Negro Querétaro en etapa de plántula y se muestra la misma situación que en la var. Negro Jamapa, solo que en esta gráfica se aprecia que la respuesta de QRAF50 y QSAF50 es más uniforme, los dos tratamientos tienen igual biomasa por lo que se concluye que la producción de biomasa en estos dos tratamientos se debe a una condición genética positiva de la variedad para resistir a la sequía ya que produjeron igual biomasa las plantas sometidas a sequía que las plantas sometidas a riego. Entre estos tratamientos no hay diferencias y tampoco las hay entre QRAF100 y QSAF100, aunque como se dijo antes QSAF100 presenta los valores más altos de biomasa, pues este tratamiento presenta altos valores de transpiración (Figura 37).

Figura 21. Peso Seco Total en plántulas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Querétaro sometidas a riego y sequía con A.F. del 50 y 100 % .



La Figura 22 nos muestra la evaluación del Peso Seco Total de *P. vulgaris* L. var. Negro Querétaro en etapa de floración. El tratamiento que más biomasa presenta es QRAF100 (testigo), en esta etapa es cuando la planta es más sensible al estrés hídrico y se observa en la reducción de biomasa de los tratamientos sometidos a sequía, entre QRAF50 y QSAF50 no hay diferencias aunque QRAF50 tiene mayor biomasa que QSAF50 ya que en esta etapa si se cumple el hecho de que a mayor cantidad de agua absorbida mayor biomasa. Entre QRAF100 y QSAF100 si hay diferencias debido a que QSAF100 presenta menor biomasa por la condición de sequía a que fue sometida.

Figura 22. Peso Seco Total en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Querétaro sometidas a riego y sequía con A.F. del 50 y 100 %. Etapa de floración.



4.1.6 Area Foliar

Plántula

En las gráficas 23 y 24 no se presentaron diferencias entre tratamientos R y S independientemente de la variedad, en sus respectivos niveles de área foliar (50 y 100%) lo que se separa del patrón esperado de mayor área foliar en riego y menor en sequía, lo que nos indicaría a priori que el efecto de la falta de agua no afectó el A.F.. Sin embargo, cabe aclarar que dicha medición fue del A.F. total i.e. incluyendo las hojas que se desprendieron de la planta lo que nos lleva al hecho observado de que el tratamiento de sequía si bien induce pérdida de hojas a su vez también estimula el crecimiento acelerado de nuevas, con lo cual se mantuvieron valores similares a riego a pesar de que las hojas en sequía presentaron áreas individuales más reducidas. La interpretación que aventuramos está asociada al dato de que la expansión celular es muy sensible al agobio hídrico, pero la división celular requiere valores extremos para ser afectada. La eficiencia de la renovación foliar puede asociarse a la muerte de meristemas y un consecuente crecimiento de yemas foliares. Se observa que los tratamientos sometidos a sequía tienen una mayor área foliar.

En apoyo a lo anterior debemos mencionar que la operación de reducción de A.F. a 50 % tuvo una mayor frecuencia en los tratamientos de sequía con respecto a los de riego.

Figura 23. Area Foliar en plántulas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Jamapa sometidas a riego y sequia, con A.F. del 50 y 100 %.

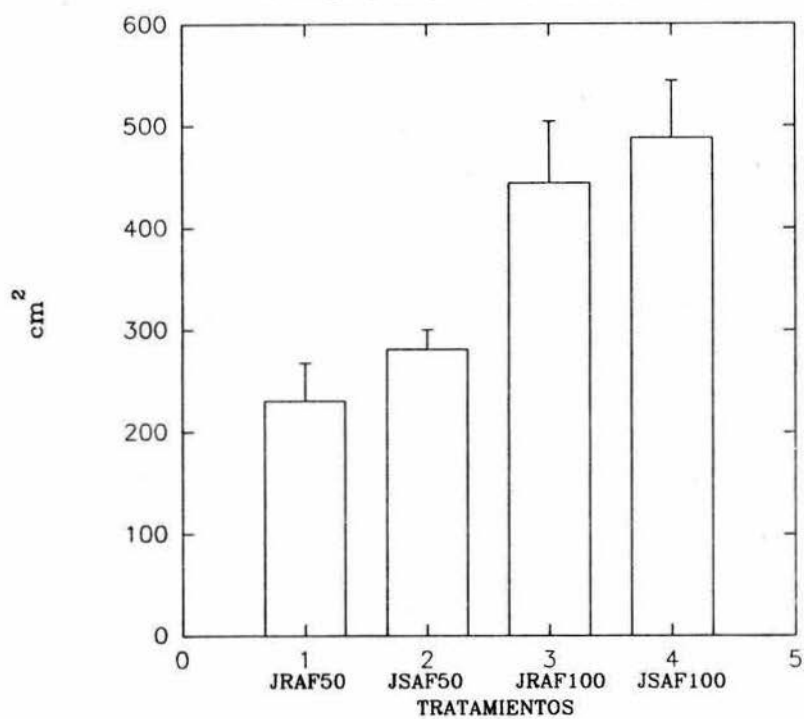
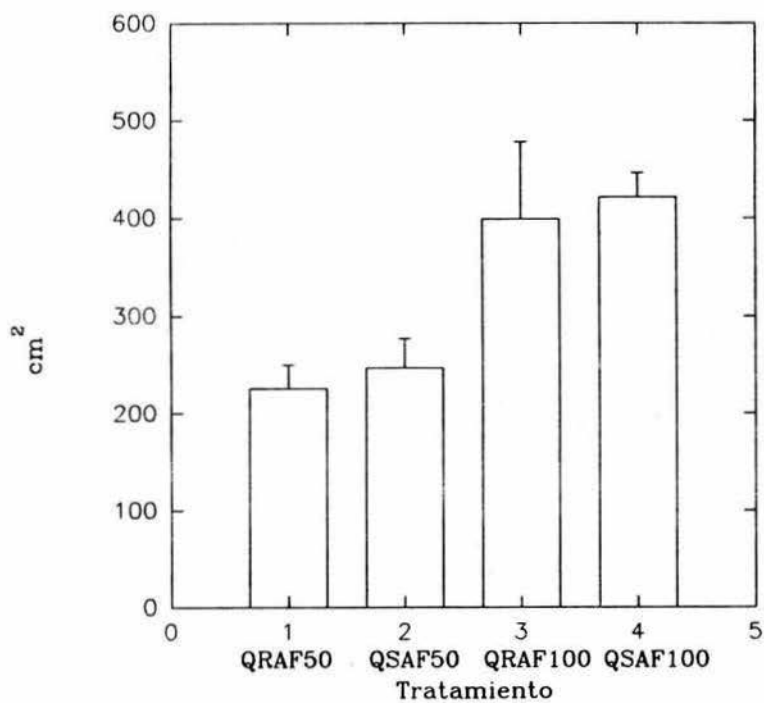


Figura 24. Area Foliar en plántulas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Querétaro sometidas a riego y sequía con A.F. del 50 y 100 %.



Floración

Las Figuras 25 y 26 muestran diferencias entre tratamientos R y S en ambas variedades en sus respectivos niveles de área foliar (50 y 100%) lo que indica que la sequía tuvo un impacto diferencial en esta etapa donde la planta es más sensible al déficit hídrico. La reducción del área foliar en los tratamientos R y S con el 50 % de área foliar nos da el patrón esperado, una mayor área foliar con respecto a los tratamientos R y S con área foliar del 100 %, no así en la etapa de plántula.

Figura 25. Area Foliar en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Jamapa sometidas a riego y sequía con A.F. del 50 y 100 %.

Etapa de floracion.

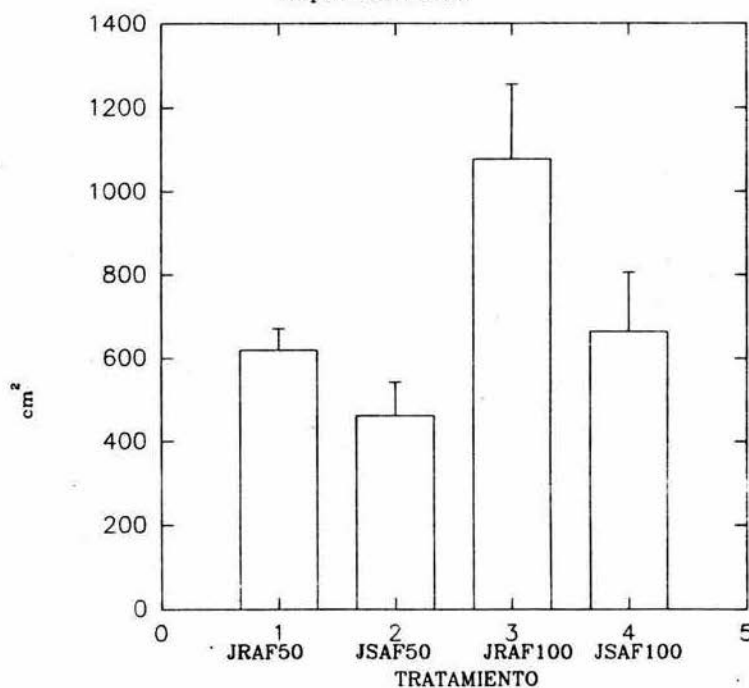
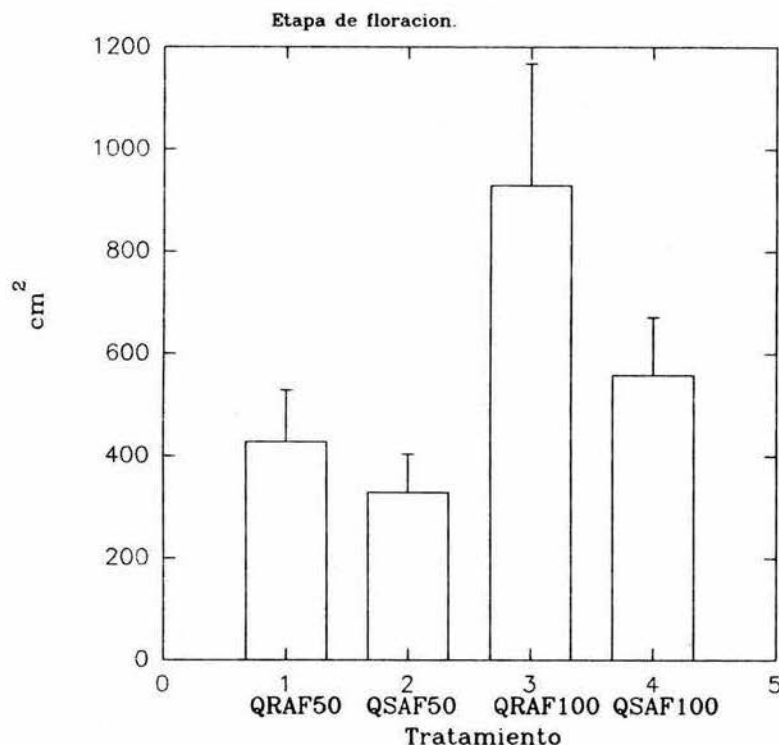


Figura 26. Area Foliar en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Queretaro sometidas a riego y sequía con A.F. del 50 y 100 %.



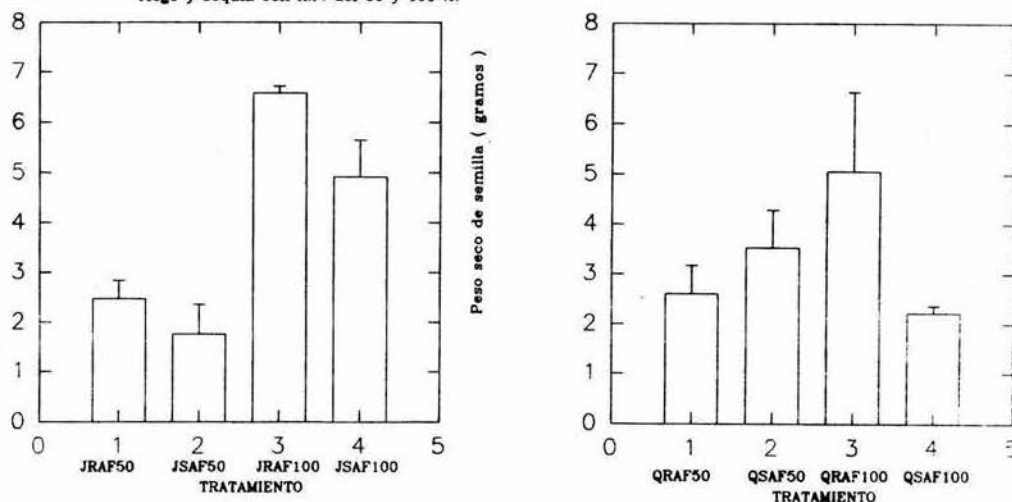
Concluyendo, en las dos variedades la producción de A.F. aparentemente no ve afectada por el déficit hídrico ni por la reducción del A.F. en etapa de plántula. El estrés a que fueron sometidas las plantas las estimuló para aumentar la producción de A.F. en los tratamientos sometidos a sequía. En etapa de floración, la producción de A.F. fue abatida ya que disminuyó la caída de hojas y por lo tanto la velocidad de producción de hojas, en esta etapa se cumple la aseveración de que a menor A.F., menor fotosíntesis y por lo tanto menor producción de A.F..

4.2 Respuestas de orden agronómico

4.2.1 Rendimiento-Peso Seco de Grano

En la gráfica 27 se observa la producción de grano en ambas variedades; se muestra que en la var. Negro Jamapa la sequía y la reducción del A.F. afectan drásticamente la producción de grano no así en la var. Negro Querétaro la cual en estas condiciones tiene una mas alta producción de grano. En buenas condiciones de riego, la var. Negro Jamapa alcanza una producción de grano superior a la var. Negro Querétaro y en condiciones de sequía con A.F. del 100 % sucede lo mismo. Se presentan diferencias solo entre tratamientos con A.F. del 100 % lo que nos indica el impacto diferencial producido por déficit hídrico. También es claro que en la var. Negro Jamapa es más alta la producción de grano lo que nos indica que esta var. posiblemente tenga características genotípicas resistentes a la sequía.

Figura 27. Peso Seco de Grano de Phaseolus vulgaris L. en las var. Negro Jamapa y Negro Queretaro sometidas a riego y sequía con A.F. del 50 y 100 %.



4.3 Respuestas fotoquímicas a la sequía

4.3.1. Relación FV/FM

En las Figuras de eficiencia fotoquímica (Figs. 28 a la 33) se muestra que el efecto de fotoinhibición coincidió con las horas de mayor incidencia solar, siendo mas acentuado en los tratamientos de sequía en estado de plántula para ambas variedades lo que nos indica sensibilidad diferencial de este estado, siguiendo en gradiente fotoinhibitorio, la etapa de floración.

Para la etapa de llenado de grano se observó una marcada fotoinhibición diferencial en Negro Querétaro (Fig. No. 28) con respecto a Negro Jamapa (Fig. 32). Dicha inhibición por períodos prolongados (12 a 16 horas) creemos podría tener significado en el rendimiento económico de N. Querétaro.

Finalmente, aunque no de una manera muy definida, se detectó menor eficiencia fotoquímica en los tratamientos con área foliar al 50%. De ser sólida esta tendencia, se contravendría uno de los supuestos del presente trabajo sobre que la eficiencia fotosintética se incrementará si se reduce el área foliar pero no se modifica la demanda (principalmente, llenado de semillas.).

Existe una baja regulación de apertura estomática o una disminución del control hidroactivo. La demanda de fotosintatos es elevada lo que nos lleva a conjeturar dos posibilidades, a) se da un incremento de la eficiencia fotoquímica ó b) la sequía no afecta el comportamiento del fotosistema II; ya que los tratamientos sometidos a sequía presentaron valores similares de FV/FM con respecto a los tratamientos en riego o bien la sequía aplicada no afecta (Figs. 28 a la 33).

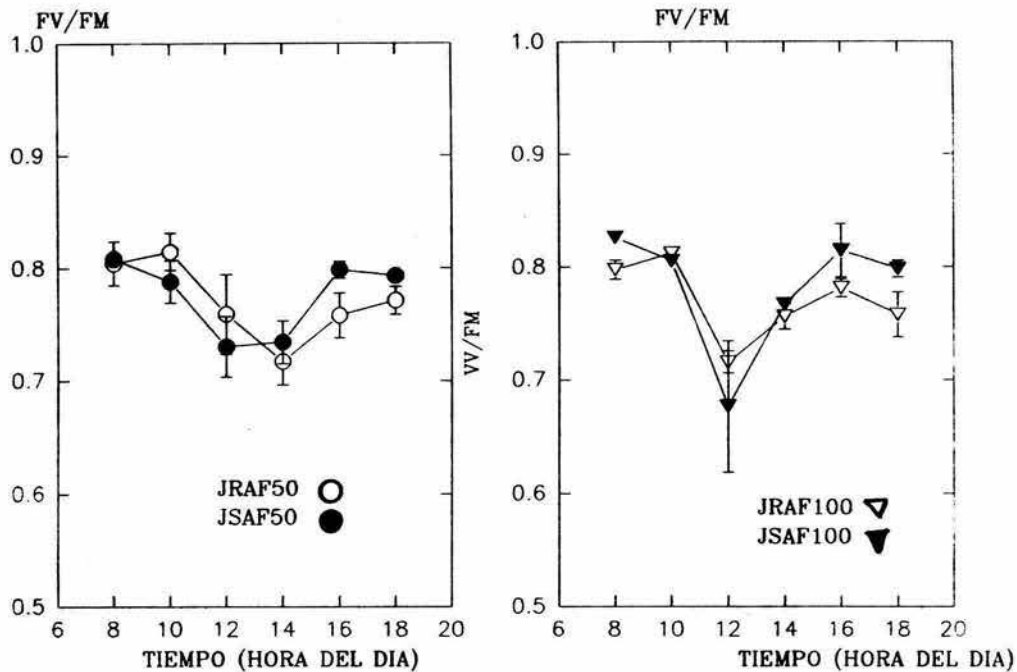


Figura 28. Eficiencia Fotoquímica en plántulas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Jamapa, sometidas a riego y sequía con A.F. del 50 y 100 %.

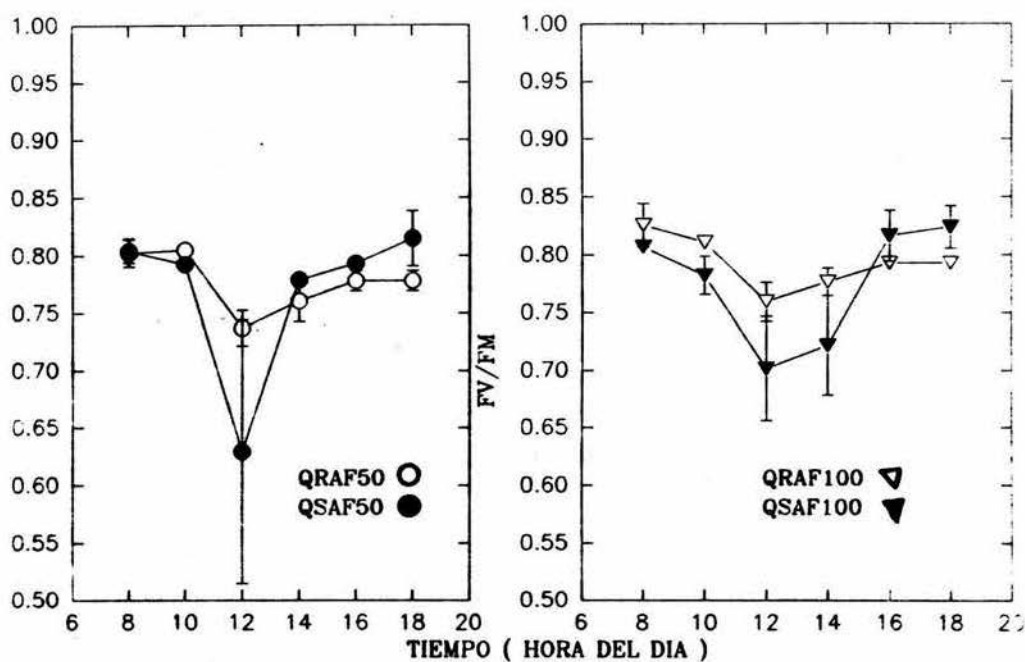


Figura 29. Eficiencia Fotoquímica en plántulas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Querétaro, sometidas a riego y sequía con A.F. del 50 y 100 %.

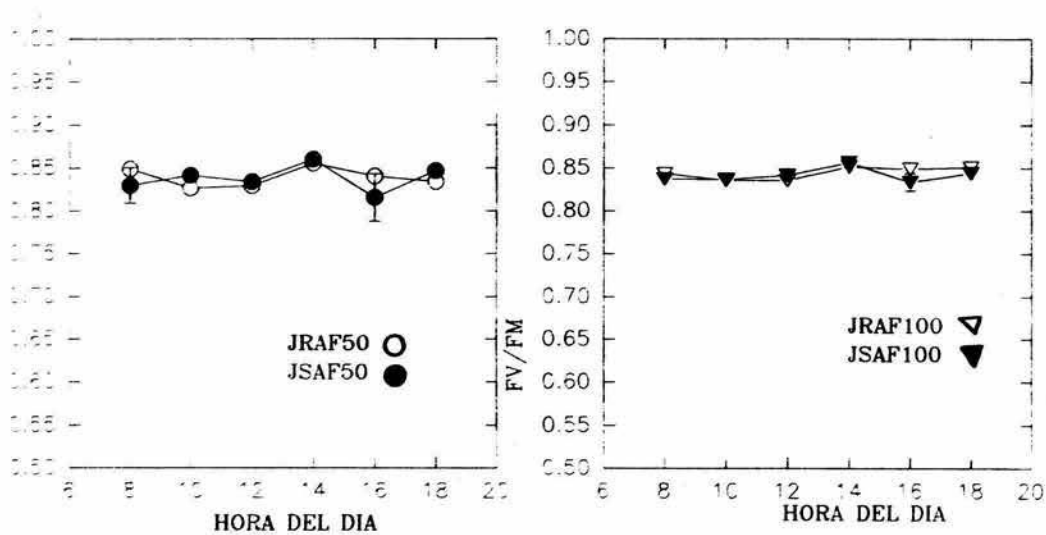


Figura 30. Eficiencia Fotoquímica en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Jamapa, sometidas a riego y sequía. Etapa de floración.

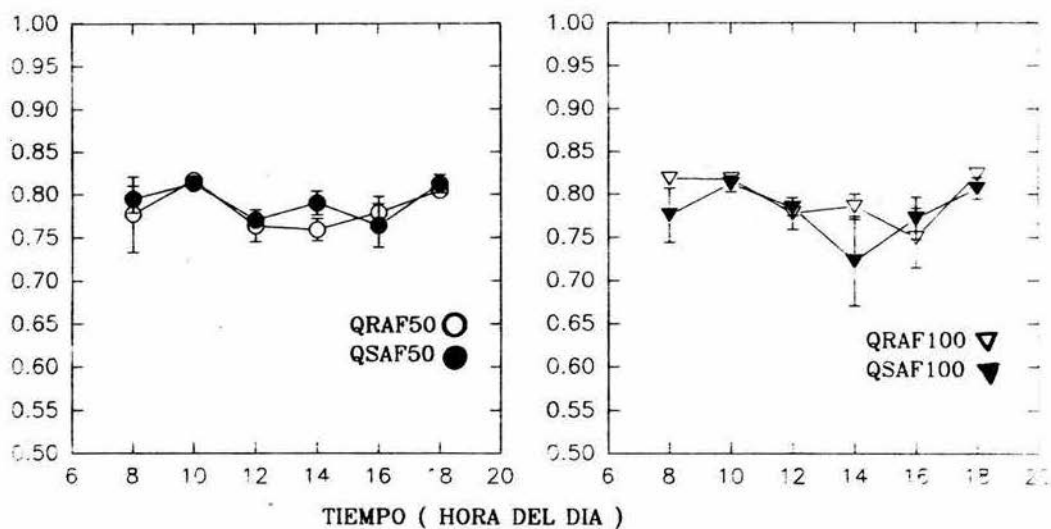


Figura 31. Eficiencia Fotoquímica en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Querétaro sometidas a riego y sequía con A.F. del 50 y 100 %.
Etapa de floración.

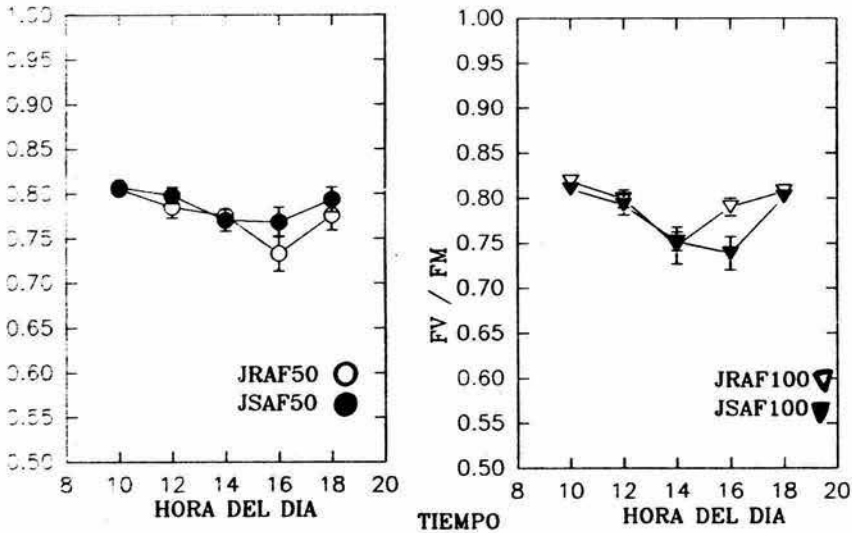


Figura 32. Eficiencia Fotoquímica en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Jamapa, sometidas a riego y sequía, con A.F. del 50 y 100 %.
Etapa de llenado de grano.

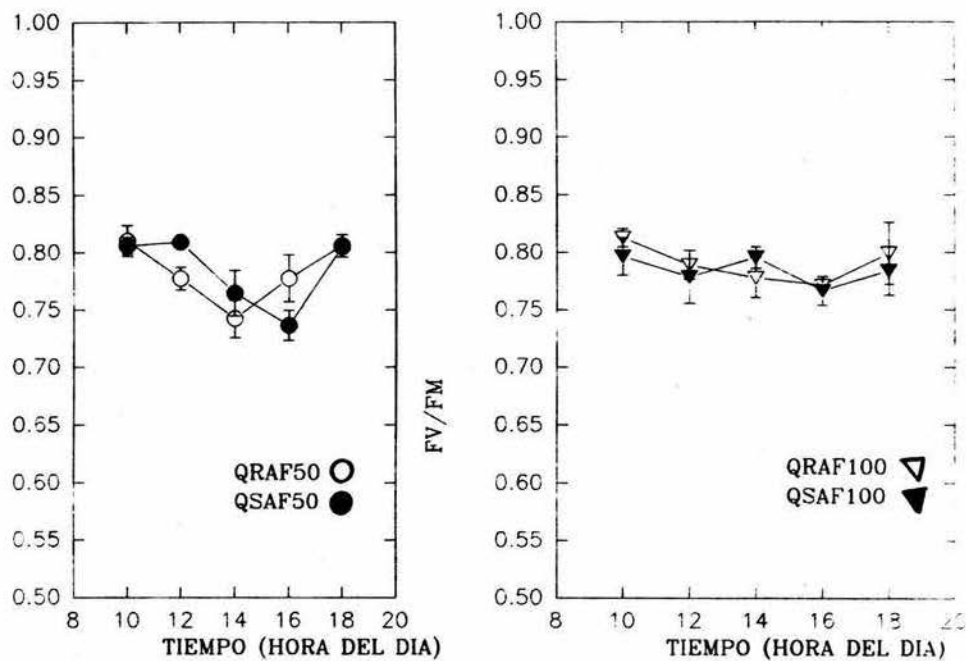


Figura 33. Eficiencia Fotoquímica en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Querétaro, sometidas a riego y sequía con A.F. del 50 y 100 %. Etapa de llenado de grano.

4.4 Respuestas de orden fisiológico al déficit hídrico

4.4.1 Transpiración

En las Figuras 34, 35 y 36 se observa el comportamiento de la var. Negro Jamapa respecto a la transpiración mostrando que ésta en etapa de plántula es aproximadamente tres veces más alta por unidad de área con respecto a floración y 10 veces más alta con respecto a llenado de grano. Los factores que influyeron sobre la transpiración fueron las diferencias de área foliar y desarrollo radical, como era de esperarse las plantas testigo presentaron la mayor área foliar. Asimismo, el control hídrico va cambiando a medida que se pasa de una etapa fenológica a otra.

Ver cuadro No. 1.

TRANSPIRACION - VAR. NEGRO JAMAPA

PLANTULA	FLORACION	LLENADO DE GRANO
ALTA	3 VECES < con respecto a plántula	10 VECES < con respecto a plántula

Cuadro No. 1

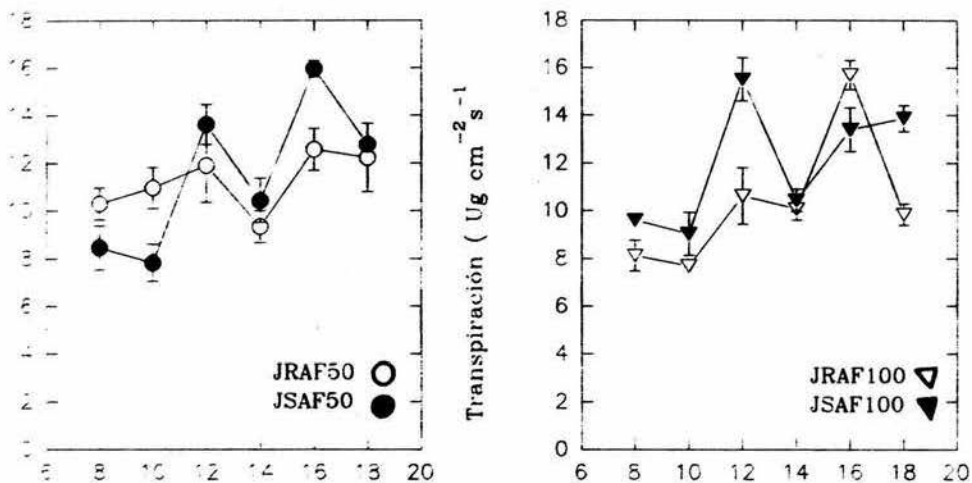


Figura 34. Transpiración en plántulas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Jamapa, sometidas a riego y sequía con A.F. del 50 y 100 %.

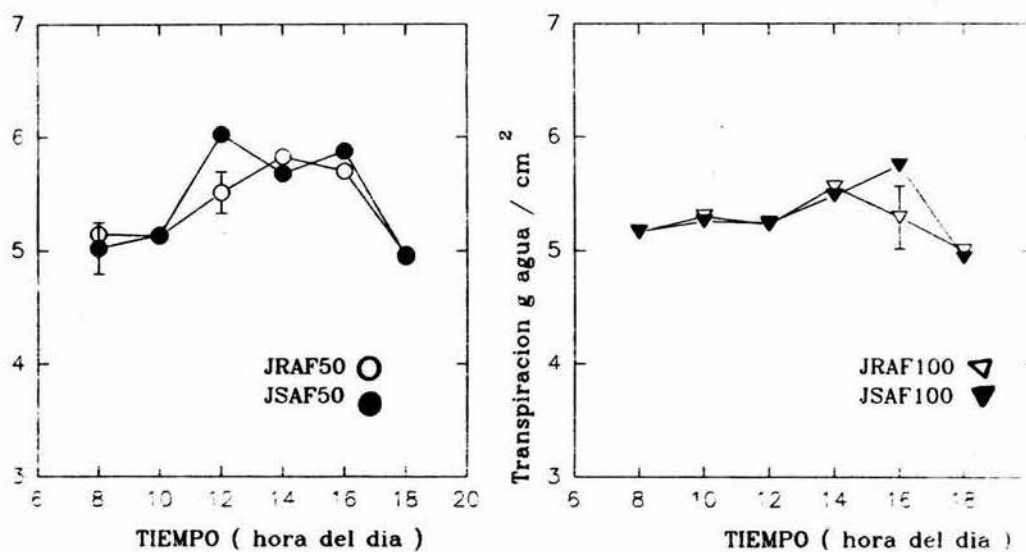


Figura 35. Transpiración en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Jamapa, sometidas a riego y sequía con A.F. del 50 y 100 %.
Etapa de floración.

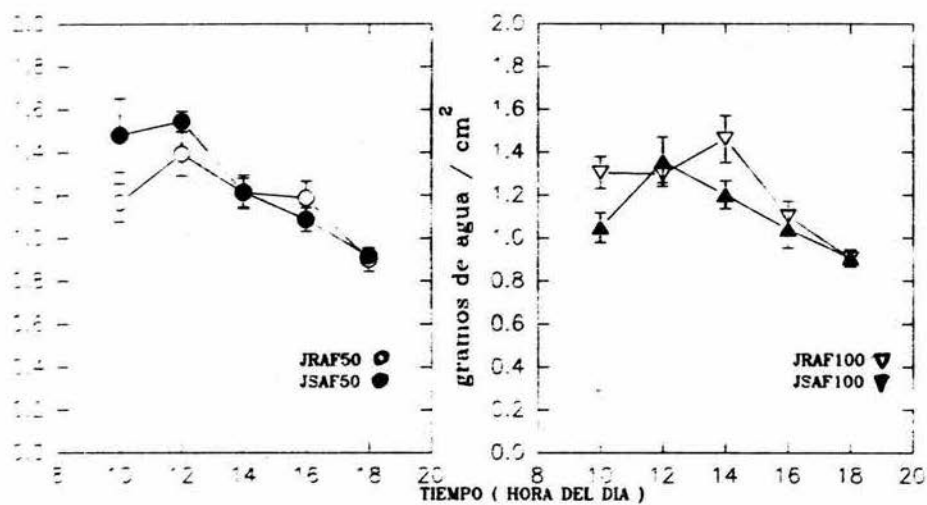


Figura 36. Transpiración en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Jamapa sometidas a riego y sequía, con A.F. del 50 y 100 %.
Etapa de llenado de grano.

El análisis de la transpiración en la variedad N. Querétaro es como sigue: las Figuras 37, 38 y 39 muestran que la transpiración es mayor en etapa de plántula, 3 veces más alta con respecto a la etapa de floración y 7 a 8 veces más alta con respecto a la etapa de llenado de grano. Por lo tanto, en las primeras etapas de crecimiento de las plantas el flujo transpiratorio fué mayor, disminuyendo en las etapas posteriores.

Ver cuadro No. 2

TRANSPIRACION - VAR. NEGRO QUERETARO

PLANTULA	FLORACION	LLENADO DE GRANO
ALTA	3 VECES < RESPECTO A PLANTULA	7-8 VECES < RESPECTO A PLANTULA

Cuadro No. 2

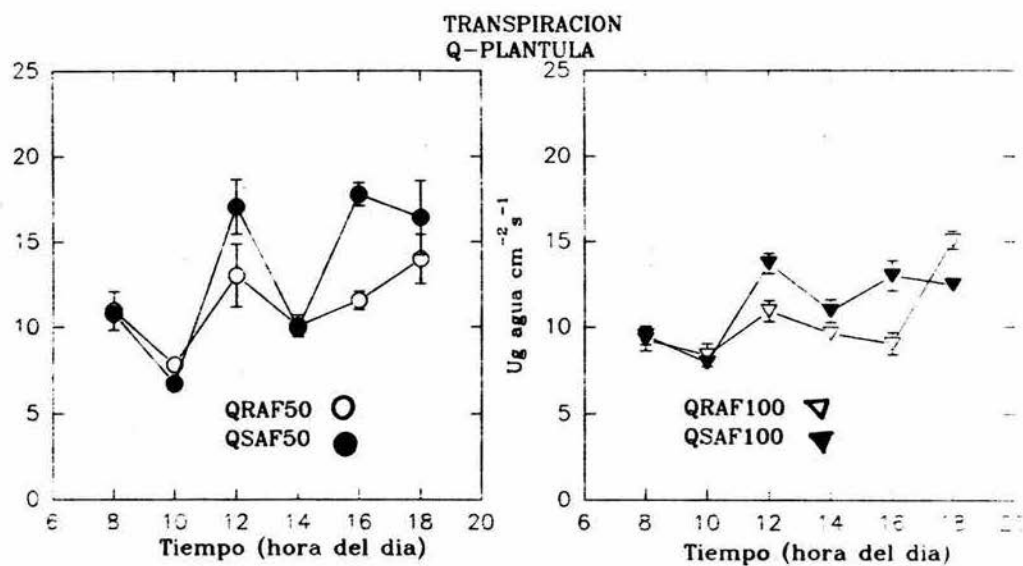


Figura 37. Transpiración en plántulas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Querétaro sometidas a riego y sequía, con A.F. del 50 y 100 %.

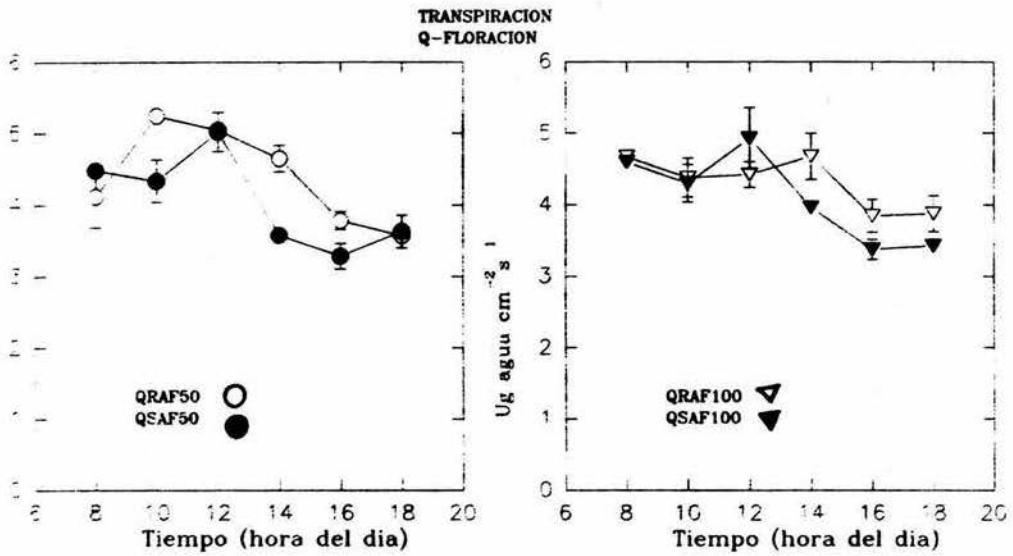


Figura 38. Transpiración en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Querétaro, sometidas a riego y sequía con A.F. del 50 y 100 %. Etapa de floración.

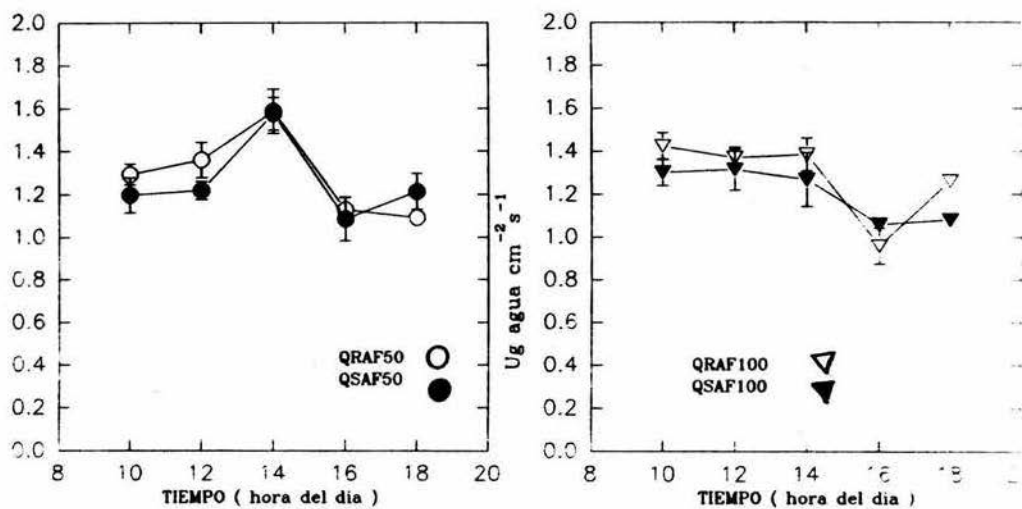


Figura 39. Transpiración en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Queretano, sometidas a riego y sequía, con A.F. del 50 y 100. Etapa de llenado de grano.

4.4.2 Resistencia estomática a la difusión de vapor de agua.

Kuiper 1961 (citado por Kramer, 1974) reportó valores de 9.6 seg./cm para frijol pero no especifica en que etapa fisiológica. En las Figuras 40 a 45 se observa la resistencia a la difusión de vapor de agua y nos muestran que es ligeramente más alta en etapa de plántula en tratamientos sometidos a riego, lo que indica que las plántulas sometidas a sequía están transpirando mas en las dos variedades por lo que se asume que no tienen control estomático. En etapa de floración no existen diferencias entre tratamientos y entre variedades, lo que nos indica que ni la sequía ni la defoliación afecta en esta etapa fenológica a las variedades lo cual muestra que en esta etapa a diferencia de la anterior la planta es resistente a los tratamientos antes mencionados. En etapa de llenado de grano la resistencia a la difusión es afectada en tratamientos y en ambas variedades debido a que la planta presenta una fuerte demanda de asimilados para el proceso que se lleva en esta etapa fenológica, observándose diferencias entre tratamientos de una misma variedad y entre tratamientos de ambas variedades.

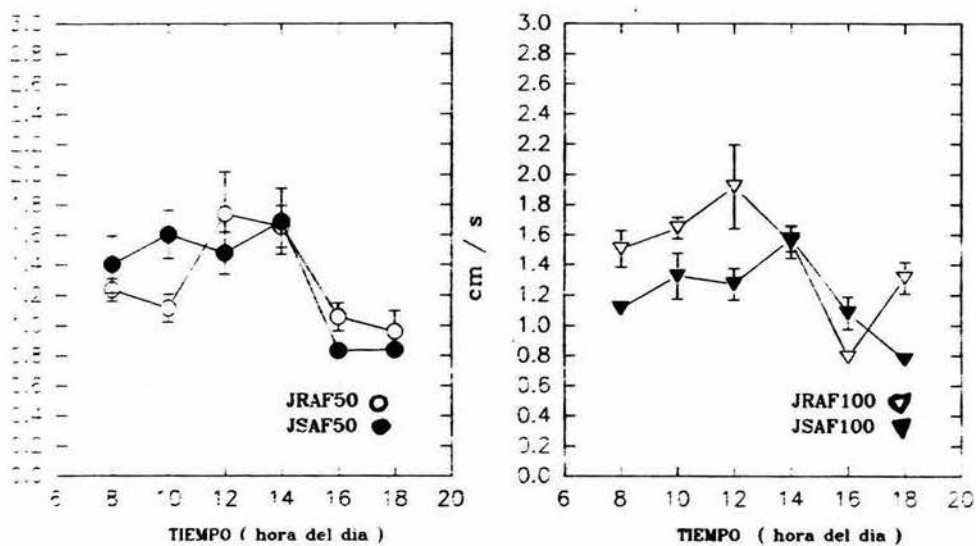


Figura 40. Resistencia a la Difusion en plantulas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Jamapa sometidas a riego y sequia, con A.F. del 50 y 100 %.

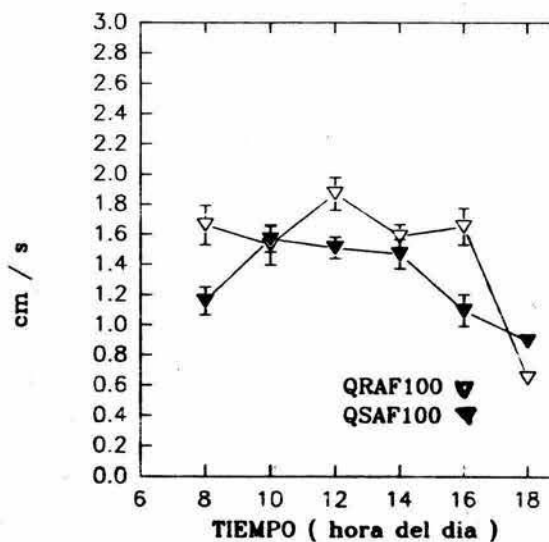
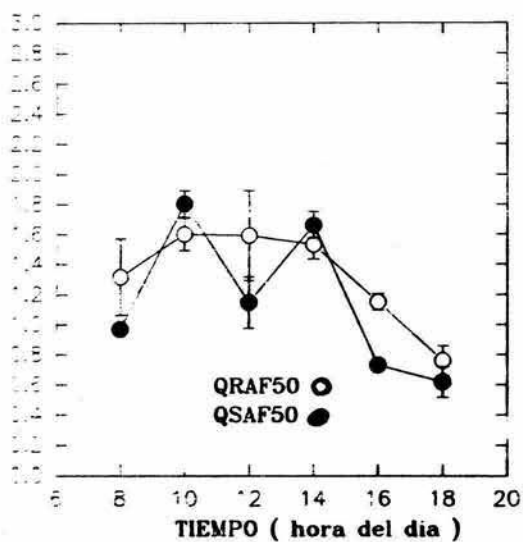


Figura 41. Resistencia a la Difusión en plantulas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Queretaro, sometidas a riego y sequia con A.F. del 50 y 100 %.

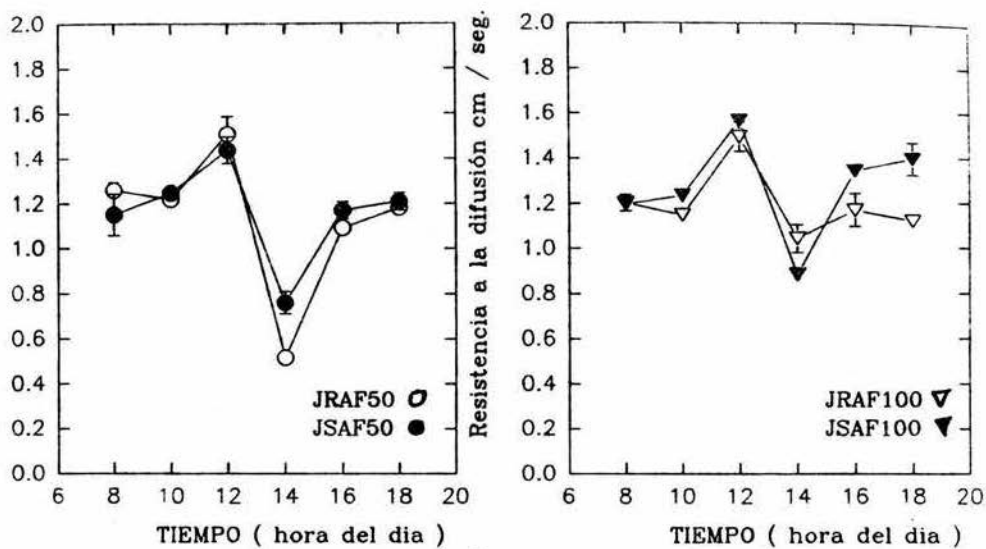


Figura 42 Evaluación de la Resistencia a la Difusión en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Jamapa sometidas a riego y sequía con área foliar del 50 y 100 %. Etapa de Floración.

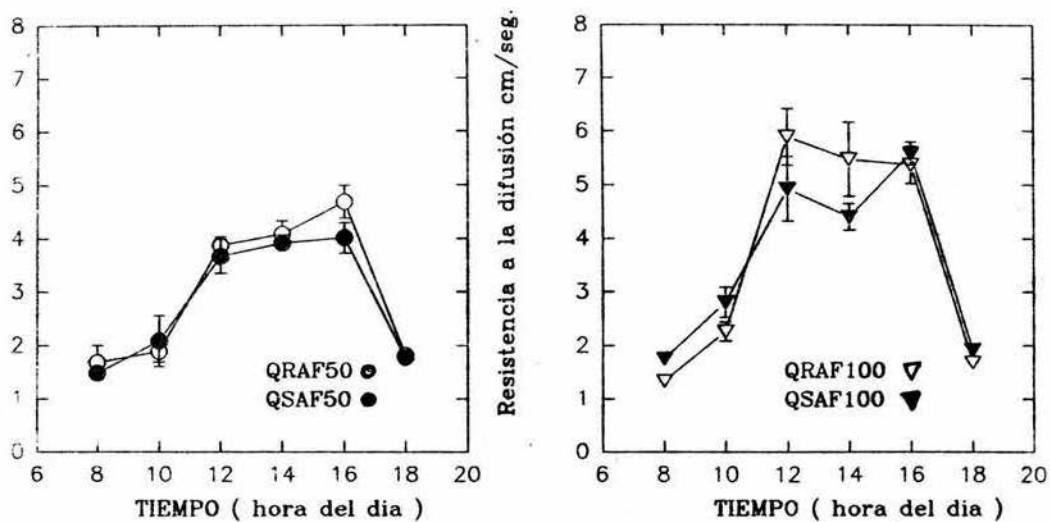


Figura 43 Evaluación de la Resistencia a la Difusión en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Querétaro sometidas a riego y sequía con área foliar del 50 y 100 %. Etapa de Floración.

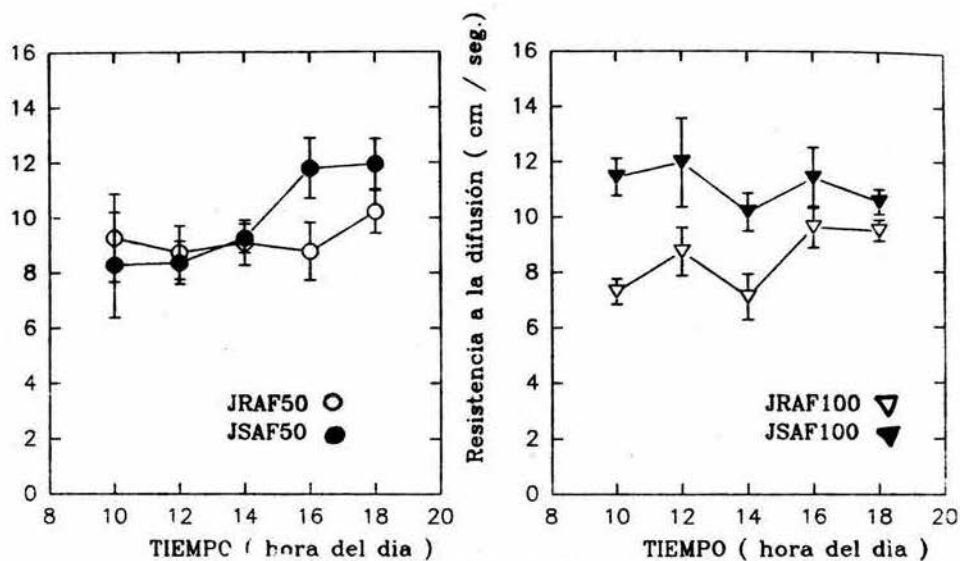


Figura 44 Evaluación de la Resistencia a la Difusión en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Jamapa sometidas a riego y sequía con área foliar del 50 y 100 %. Etapa de llenado de grano.

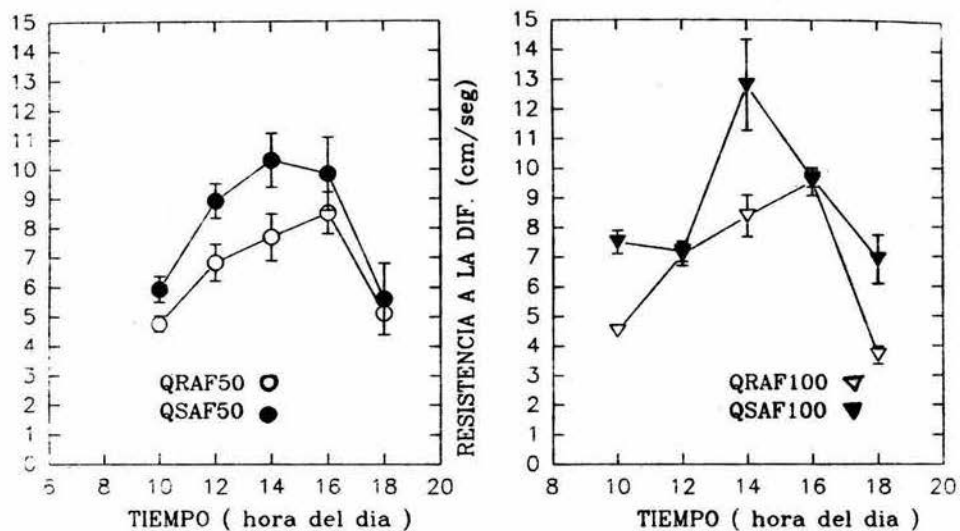


Figura 45 Evaluación de la Resistencia a la Difusión en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Negro Querétaro sometidas a riego y sequía con área foliar del 50 y 100 %. Etapa de llenado de grano.

V. CONCLUSIONES

Respecto a PSR en la etapa de plántula si existe una respuesta diferencial en los tratamientos sometidos a sequía, principalmente en la variedad Negro Jamapa; no así en las etapas posteriores donde se observa un crecimiento proporcionado de acuerdo al porte de la planta, i.e..

En PSH entre variedades, la var. Negro Jamapa alcanza un mayor peso seco de hojas en condiciones de sequía en plántula y también presenta un ligero aumento de la eficiencia fotoquímica (Fig.28). La diferencia esencial entre plántula y floración es que en esta última los renuevos foliares reducen su frecuencia modificándose la eficiencia fotosintética por la floración misma, en previsión del período de llenado de semilla. Esto significa que la caída de hojas se mantiene en condiciones de sequía y no así la renovación de las mismas. Por otro lado, en riego, la caída de hojas fue menor, sosteniéndose el área foliar como se puede apreciar en las gráficas de peso seco de hojas.

En PST en etapa de plántula JSAP100 evitó la sequía pues mantuvo altas tasas de transpiración, dió un alto rendimiento de biomasa y por lo tanto en esta etapa tiene una alta resistencia al estrés por sequía. En la var. N. Querétaro los dos tratamientos tienen igual biomasa por lo que se concluye que la producción de biomasa en estos dos tratamientos se debe a una condición genética positiva de la variedad para resistir a la sequía ya que produjeron igual biomasa las plantas sometidas a sequía que las plantas sometidas a riego.

La eficiencia fotoquímica (FV/FM) en las dos variedades muestra que la demanda de fotosintatos es elevada lo que nos lleva a conjeturar dos posibilidades, a) se da un incremento de la eficiencia fotoquímica ó b) la sequía no afecta el comportamiento del fotosistema II; ya que los tratamientos sometidos a sequía presentaron valores similares de FV/FM con respecto a los tratamientos en riego o bien la sequía aplicada no afecta (Figs. 28 a la 33).

En condiciones normales la RAF nos indica la eficiencia de producción de biomasa por el área foliar vía fotosíntesis, razón

por la cual un área foliar reducida con una biomasa elevada sería el reflejo de eficiencia y consiguientemente una gran área foliar con poca biomasa indicaría ineficiencia de ésta. Por lo tanto, al comparar dos RAFS diferentes, aquella que presente valores superiores nos mostraría poca eficiencia.

En la respuesta de RAF la variedad que más densidad de A.F. presentó fue la variedad Negro Jamapa, en el aspecto de PSG, la variedad Negro Jamapa también fue la que produjo más rendimiento económico, así como comportamiento transpiratorio alto respecto a la var. Negro Querétaro. Cabe señalar que para establecer con mayor exactitud las características genéticas propias de cada variedad se requiere una investigación más a fondo desde el punto de vista bioquímico, como determinación de prolina, asimilación neta de CO₂, etc.

No se realizó análisis estadístico porque se requiere tener lotes de un mayor número de plantas y se llevo a cabo un análisis gráfico de figuras siguiendo la tendencia de las respuestas mostradas por las plantas.

VI. BIBLIOGRAFIA

1. Acosta, C.E. 1988. Comportamiento de genotipos de sorgo (*Sorghumbicolor* L. Moench) bajo condiciones de sequía de temporal. Tesis Ing. Agr. Fitotecnista. Universidad Autónoma de Nuevo León.
2. Arriaga, F.A. et al. 1985. Evaluación de la respuesta fisiológica de tres variedades de sorgo bajo el esquema riego-sequía. Tesis Biólogo. E.N.E.P.I.-UNAM. México.
3. Begg, E.J. y Neil, C. Turner, . Crop Water Deficits. Csiro, Division of Plant Industry, Camberra, A.C.T., Australia.
4. Blum, A. 1983. Genetic and physiological relationships in plant breeding for drought resistance. In: Stone, J.F. y Willis, W.O. (Ed.) Plant production and management under drought conditions. Elsevier science publishers. Amsterdam.
5. Canseco V.E.P. 1978. Evaluación de un método de selección para tolerancia a la sequía en mijo perla (*Pennisetum glaucum* L.) Tesis M. en C. Esp. Fitomejoramiento ITESM. Monterrey, N.L.
6. Christiansen, M.N. y Charles F. Lewis, 1987. Mejoramiento de plantas en ambientes poco favorables. Ed. Limusa. México, D.F.. 534 pp.
7. Col. Cuadernos Universitarios. Serie Agronomía No.12 Dpto. de Zonas Aridas.UACH, México.
8. Coombs, J. y D.O. Hall, S.P. Long., J.M.O. Scurlock, 1988. Técnicas en Fotosíntesis y Bioproductividad. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
9. Crispín, M.A. Manual de Caracterización de Variedades Mejoradas de Frijol. CIR-INIFAP, El Horno, Chapingo. México.

10. Cruz H., C.T. 1988. Tolerancia a la sequía en diferentes genotipos de zacate buffel (*Cenchrus ciliaris*) Tesis Ing. Agr. Zootecnista. Univ. Aut. Nvo. León. Fac. Agronomía.
11. De la Cruz, G.G.H. y Arriaga, F.A. 1987. (datos no publicados). Algunas respuestas de *Amaranthus hypochondriacus* L., bajo tres niveles de humedad. E.N.E.P.I.- UNAM. México.
11. Durán, N.J.J. 1986 Resistencia a la sequía XXI: Estudio sobre trasplante de garbanzo (*Cicer arietinum* L.). Observaciones morfológicas y fisiológicas. Tesis M. en C. Esp. Botánica. Centro de Postgraduados. Chapingo, México.
12. Engleman. E.M. 1979. Contribuciones al conocimiento del frijol en México. Colegio de Postgraduados, Chapingo., México. 264 pp.
13. Fischer, K.S., Johnson, E.C. y G.O. Edmeades. 1984. Mejoramiento y selección de maíz tropical para incrementar su resistencia a la sequía. Centro Internacional de Mejoramiento del maíz y trigo. México.
14. Gómez-Pompa, A. 1985. Los recursos bióticos de México (Reflexiones). INIREB, Xalapa, Ver. Ed. Alhambra, México.
15. Gómez, R.J.C. 1981. Método climático de fina en la aplicación de la agricultura en el Estado de Aguascalientes. Colección Cuadernos. Fac. de Filosofía y Letras, UNAM. México.
16. Gutiérrez C., M.A. 1986. Resistencia a la sequía XXII: Cotejo de un marcador fisiológico de sequía que se correlaciona con rendimiento agronómico en frijol. Tesis M. en C. Esp. Botánica C.P. Chapingo, México.
17. Jones, H.G. 1983. Plants and microclimate. A quantitative approach to environmental plant physiology. Cambridge University Press, London.

18. Jordan, W.R. y F.R. Miller, 1980. Genetic variability in sorghum systems: in: Turner N.C. y P.J. Kramer (Eds) 1980. Adaptations of plants to water and high temperature stress. John Wiley and Sons. U.S.A.
19. Kramer, P.J. 1974. Relaciones Hídricas de Suelos y Plantas. Una síntesis moderna, Edutex. México, D.F.
20. Larque-Saavedra, A. (compilador) (s.f.) El agua en las plantas cultivadas. Centro de Botánica. Colegio de Postgraduados, Chapingo., México.
21. Levitt, J. 1972. Responses of plants to environmental stress. Academic Press, Nueva York. E.E.U.U.
22. Medina, E. 1977. Introducción a la Ecofisiología Vegetal. Col. de Monografías científicas. Serie Biología. Organización de los Estados Americanos. Washington, D.C.
23. Moreno, L.S., Ratikanta K. Maiti, Pedro Wesche E. e Hilda Gámez González, 1993. Una revisión de los aspectos morfoanatómicos, fisiológicos y bioquímicos de especies silvestres y cultivadas de frijol. Universidad, Ciencia y Tecnología. Vol.2, No. 4, 12 pp.
24. Muñoz, O.A. 1975. Relaciones agua-planta bajo sequía en varios sintéticos de maíz resistentes a sequía y heladas. Chapingo, México. Tesis Doctor en Ciencias Esp. Genética. Noble y Lebrija.
25. Parsons, L.R. (s/f). Respuestas de la planta a la deficiencia de agua. En Christiansen, M.N. y Lewis, Ch. L. (1981) (Editores). Mejoramiento de plantas en ambientes poco favorables. Ed. Limusa, México.
26. Passioura, J.B. 1983. Roots and drought resistance. Agricultural Water Management 7: 265-280.

27. Reyna, T.T. 1970. Relaciones entre sequía intraestival y algunos cultivos de México. Inst. de Geografía. UNAM, México.
28. Rojas, G.M. 1984. Fisiología vegetal aplicada. McGraw Hill de México, S.A. de C.V.
29. Rojas, R.T. 1988. Las siembras de ayer. La agricultura indígenas del siglo XVI. SEP., México.
30. Rosielle, A.A. y Hamblin, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop. Sci. 21: 943-946.
31. Savin, C. y Col. 1980. Interacción de experimentos e ideas. Consejo Nacional para la Enseñanza de la Biología A.C.. Ed. Limusa, México.
32. Siqueira, P.R. y Enrique Palacios V., 1985. Función de respuesta del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a variaciones de humedad del suelo en tres etapas fenológicas y aspectos fisiológicos. Agrociencia No. 59, p. 39-54. Chapingo, México.
33. Sullivan, C.Y. y Jerry D. Eastin, 1974. Plant Physiological responses to water stress. Agricultural Meteorology, 14:113-127.
34. Tanaka, A. y J. Yamaguchi, 1972. Producción de materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento del grano en maíz. Rama de Botánica. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
35. Toledo, V.M. 1985. Ecología y autosuficiencia alimentaria. Siglo XXI editores, México.
36. Trejo, L.C. 1986. Resistencia a la sequía XXIII: Efecto del déficit hídrico en dos materiales de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) durante la etapa vegetativa de crecimiento, comparación en sus parámetros agua-planta. Tesis M. en C. Esp.

en Botánica. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

37. Turner, N.C. (s/f). Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants in mussell, H. and Richard C. Staples 1979. Stress physiology in crop plants. Jhon Willey and Sons, New York.
38. Turrent, F.A. 1987. Un panorama de la agricultura en México. CECSA, México.
39. Urbietta, U. B. R. 1982. Resistencia a la sequía VII: Efecto antitranspirante de salicilatos en *Phaseolus vulgaris* L. Tesis profesional. Facultad de Ciencias. UNAM, México.
40. Zeiger, E., 1991. Plant Physiology. The Benjamin/Cummins Publishings Company, Inc. California.
41. Villarreal, A.M. y A. Larqué-Saavedra, 1983. Condicionamiento a la sequía en el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), ajuste osmótico. Agrociencia No. 51, p. 7-16. Chapingo, México.